AKTIVIERUNG VON KOSMISCHEM MATERIAL IM INTERPLANETAREN RAUM

MESSTECHNISCHE UND EXPERIMENTELLE BEITRÄGE, SOWIE MODELLRECHNUNGEN

INAUGURALDISSERTATION
der
philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Universität Bern
zur Erlangung der Doktorwürde
vorgelegt von
MARTIN WAHLEN
von Rubigen (BE)

Von der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
auf Grund des Gutachtens von Herrn Prof.Dr.H.Oeschger
und auf Antrag von Herrn Prof.Dr. J. Geiss angenommen

Bern, den 11. Dezember 1969 Der Dekan:

Prof.Dr.K.Huber

Hausdruckerei Institut für exakte Wissenschaften
der Universität Bern, 1970

AKTIVIERUNG VON KOSMISCHEM MATERIAL IM INTERPLANETAREN RAUM MESSTECHNISCHE UND EXPERIMENTELLE BEITRAEGE , SOWIE MODELL-RECHNUNGEN

INAUGURALDISSERTATION
der
philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
der
Universität Bern
zur Erlangung der Doktorwürde
vorgelegt von
MARTIN WAHLEN
von Rubigen (BE)

Von der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät
auf Grund des Gutachtens von Herrn Prof.Dr.H.Oeschger
und auf Antrag von Herrn Prof.Dr. J. Geiss angenommen

Bern,den 11. Dezember 1969 Der Dekan:

Prof.Dr.K.Huber

Hausdruckerei Institut für exakte Wissenschaften
der Universität Bern,1970

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
Einleitung		1
A	4π-LOW-LEVEL-PROPORTIONALZAEHLER HOHER AUSBEUTE FUER X-RAY-QUELLEN	3
A	1.Einleitung	3
	2.Konstruktion des Zählers	4
	3.Betrieb und Funktionsweise	12
	3.1.Zählgas	12
	3.2.Funktionsweise	12
	4.Charakteristiken der Zähler	19
	5.Reproduzierbarkeit und Konstanz der Zählbedingungen	22
	6.Proportionalität und Energieeichung	23
	7.Ausbeute	27
	8.Nulleffekt	28
	9.Weiterentwicklung:Zähler II	30
	10.Messung von MnO_2 aus Tiefseesedimentproben	34
	11.Ausblick und weitere Anwendungsmöglichkeiten	38
B	AKTIVIERUNG VON KOSMISCHEM STAUB DURCH DIE KOSMISCHE STRAHLUNG	44
B	1.Einleitung	44
	2.Produktionsraten	45
	2.1.Produktionsmechanismen	45
	2.2.Reaktionen und Wirkungsquerschnitte	47
	2.3.Berechnung der Produktionsraten	49
	3.Aktivierung von kosmischem Staub	53
	3.1.Variabeln und Parameter	53
	3.2.Bahnmechanik der Staubteilchen und zeit-oder ortsabhängige Aktivierung	53

Seite

3.3.Diskussion der Resultate 58

C EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DES DIFFERENTIELLEN WIRKUNGSQUERSCHNITTES FUER DIE REAKTION $^{56}FE(\alpha,n)^{59}NI$ 66

C 1.Einleitung 66

2.Target und Bestrahlung 66

3.Aetzung des Target 67

4.Energieeichung 69

5.Differentieller Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $^{57}Fe(\alpha,p)^{60}Co$ 73

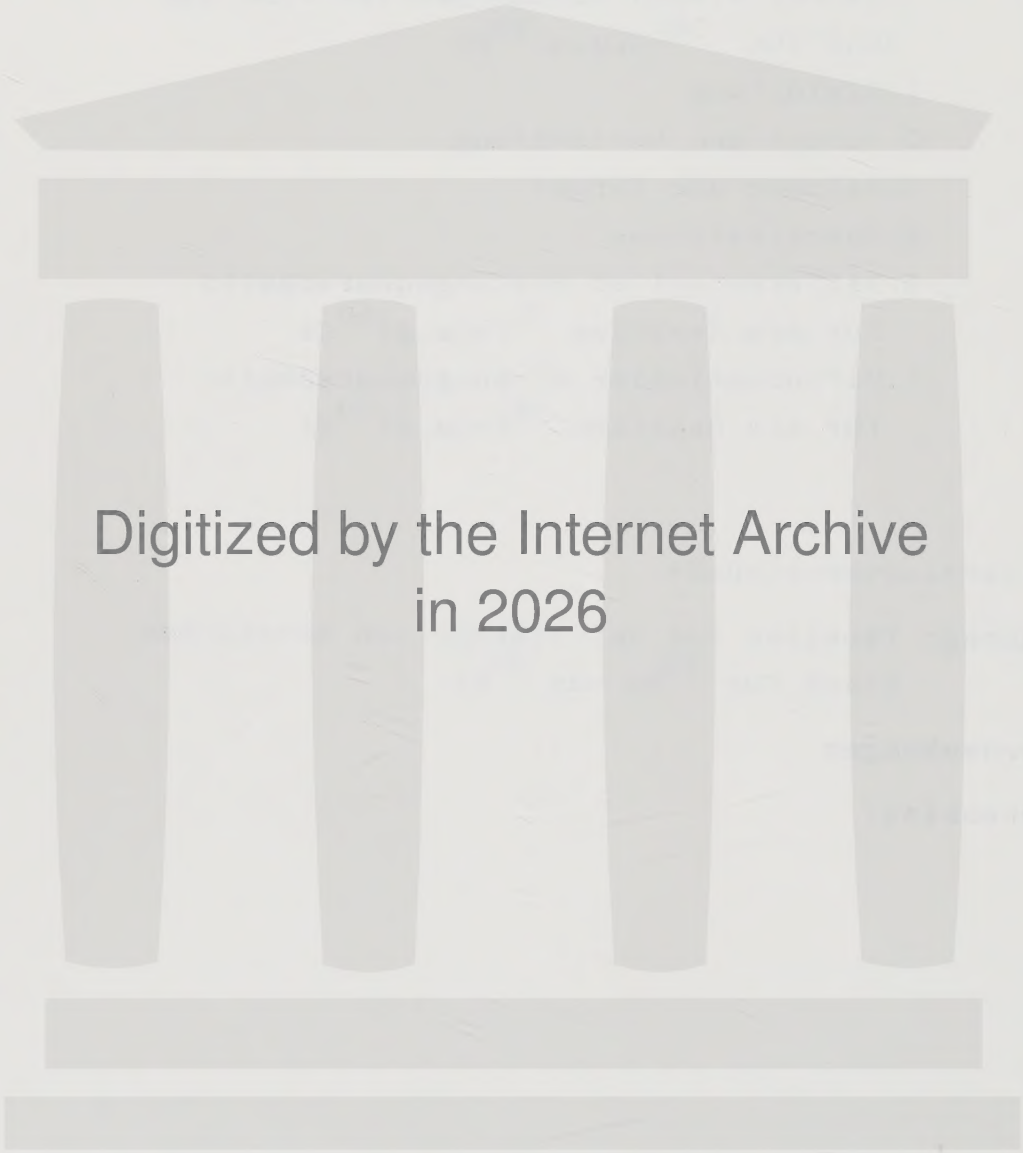
6.Differentieller Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$ 76

Literaturverzeichnis 79

Anhang: Tabellen zur Aktivierung von kosmischem Staub für ^{53}Mn und ^{59}Ni 83

Verdankungen 100

Lebenslauf 101


Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547616_0033

EINLEITUNG

Das Problem des kosmischen Staubes ist in den letzten Jahren vielfach diskutiert worden (zusammenfassende Arbeiten: 1-5). Die theoretischen und experimentellen Resultate hinsichtlich Identifikation von kosmischem Staub, Herkunft und Geschichte, Grössenverteilung von kosmischen Partikeln, Einfallsrate und Aktivierung von Staubteilchen sind oft uneinheitlich oder widersprechend (6-12). Grundsätzlich ist die Frage der Identifikation von kosmischem Staub als nicht terrestrisches Material, die prinzipiell durch folgende Methoden versucht werden kann:

a) Identifikation von kosmischem Staub aus den möglichen irdischen Sammelreservoirs (Tiefsee, polare Eiskappen) durch den Nachweis von langlebigen radioaktiven Isotopen wie ^{10}Be, ^{26}Al, ^{53}Mn und ^{59}Ni, die hauptsächlich durch Reaktionen niederenergetischer solarer Protonen und α-Teilchen produziert werden, und von denen die beiden letzteren terrestrisch nicht erzeugt werden können (13-20).

b) Durch direkte Beobachtung in Sammelexperimenten mit Hilfe von Raketen und Satelliten, sowie durch astronomische Beobachtungen (Zodiakallicht, leuchtende Nachtwolken, Meteorschauer), (21-38).

c) Durch mineralogische, morphologische und physikalisch-chemische Untersuchungen an einzelnen Partikeln von vermutlich kosmischem Ursprung (39-43).

Die Lösung des Fragenkomplexes um den kosmischen Staub ist äusserst schwierig, weil bei jedem möglichen Versuch, das Problem anzugehen, eine Vielzahl von Grössen und Parametern auftreten, die zum Teil noch wenig bekannt sind.

Am vielversprechendsten scheint der Weg über die langlebigen Isotope zu sein. Falls es gelingt, in Tiefseesedimenten oder in Material von den polaren Eiskappen, wo sich die Akkumulationsraten mit unabhängigen Methoden einigermassen zuverlässig bestimmen lassen, mehrere Isotope an der gleichen Probe zu messen,

so lassen sich einige unsichere Parameter eliminieren. Auch die Erforschung des Mondbodens(z.B.Mikrokrater) könnte in Zukunft zusätzliche Informationen über den kosmischen Staub liefern.

In dieser Arbeit werden Beiträge beschrieben, die bei der Lösung des Problems des kosmischen Staubes mithelfen sollen:

A: Entwicklung eines Zählersystems zum Nachweis der radioaktiven Isotope ^{53}Mn und ^{59}Ni an Tiefseesedimentproben.

B: Berechnung der Aktivierung von kosmischem Staub für ^{53}Mn und ^{59}Ni unter Berücksichtigung neuerer Daten und Ergebnisse für niederenergetische Protonen- und α-Flüsse, Wirkungsquerschnitte und Wechselwirkung von Staub mit der Erdatmosphäre.

C: Experimentelle Bestimmung des differentiellen Wirkungsquerschnittes für die Reaktion $^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$.

A 4π-LOW-LEVEL-PROPORTIONALZAEHLER HOHER AUSBEUTE FUER X-RAY-QUELLEN

1. Einleitung

Ausgehend von den erwarteten Aktivitäten für ^{53}Mn und ^{59}Ni kosmischen Ursprungs aus Tiefseesedimenten von ~1,0 dpm/kg Sediment für ^{53}Mn und ~0,3 dpm/kg Sediment für ^{59}Ni (B 3.3., (5)) wurde ein Low-Level-Zählersystem für feste Proben entwickelt, mit dem es möglich sein sollte, über die Existenz dieser Isotope zu entscheiden und ihre Aktivitäten zu messen (44). Die charakteristischen Daten für diese Isotope sind in Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 1

Isotop	Halbwertszeit	Zerfall	Energie α_{KL}	Fluoreszenzausbeute $\frac{X}{X + e^-}$
^{53}Mn	$2 \cdot 10^6$ y	EC, kein γ	5,4 keV	0,260
^{59}Ni	$7,5 \cdot 10^4$ y	EC, kein γ	6,9 keV	0,356

Die Hauptanforderungen an einen derartigen Zähler sind hohe Ausbeute und niedriger Nulleffekt. Die Bedingung der grossen Ausbeute lässt sich durch ein geeignetes Zählgas bei hohem Druck und mit einer 4π-Konstruktion realisieren, da im Bereiche von Z=20-30 die Fluoreszenzausbeute (d.h. das Verhältnis der emmittierten X-Rays zur Summe der emmittierten X-Rays und Elektronen) nur ca. 0,2-0,45 beträgt. (Die Elektronen können bei festen Proben nicht nachgewiesen werden.) Ein niedriger Nulleffekt lässt sich durch eine geeignete Konstruktion (Antikoinzidenz-

anordnung von Zählern,Geometrie der Zähler),sowie durch radioaktiv saubere Materialien und Zählgase und durch eine wirksame Abschirmung erzielen.

2.Konstruktion des Zählers

Es wurden zwei im wesentlichen gleiche Zähler gebaut,die im folgenden mit I und II bezeichnet werden.Der Zähler II ist eine Weiterentwicklung von Zähler I und wird am Schluss beschrieben.

Die Zähler sind als 4π-Flächenzähler ausgelegt mit einer mittleren doppelten Trägerfolie (HS c) für die Proben(aus je zwei einseitig goldbedampften Mylarfolien) und zwei einandergegenüberliegenden Zählkammern,welche jede drei Rahmen mit einer Lage Drähte enthält (siehe Figuren 1,2 und 3,sowie Photo 1 und 2).

Die Rahmen für die Drahtgitter,die Folienhalter und das Zählergehäuse sind in Plexiglas gearbeitet.Die beiden Hälften des Zählergehäuses werden durch zweifache O-Ringe abgedichtet.Die Rahmen sind mit Einfräsungen versehen,so dass die Zähldrähte und die Hochspannungsdrähte in definierter Position festgehalten werden.Stirnseitig sind die Drähte elektrisch untereinander verbunden,um den Widerstand für jeden Draht konstant zu halten. Auf der einen Seite des Rahmens wird der Draht in einem metallischen Stift mit einer Innenbohrung von 0,2 mm Durchmesser in definierter Position festgehalten (Lötstelle),auf der anderen Seite mit Hilfe einer ähnlichen Vorrichtung nach dem Spannen des Drahtes mechanisch fixiert.

Im Zählergehäuse sind die elektrischen Verbindungen zu den Zähldrähten oder Drahtgruppen (zu jeder Gruppe einzeln) gasdicht eingelassen. Die Durchführungen zu den Anodendrähten (1,2,3,4) liegen auf der einen Seite des Zählergehäuses,diejenigen für die Kathodendrähte (HS b) auf der gegenüberliegenden Seite. Die Verbindung wird durch Federmechanismen gewährleistet,wobei darauf geachtet wird,dass sämtliche Dimensionen dieser Anschlüsse ausserhalb der Zählkammern,aber noch im gasgefüllten Volumen,gross gehalten werden gegenüber den

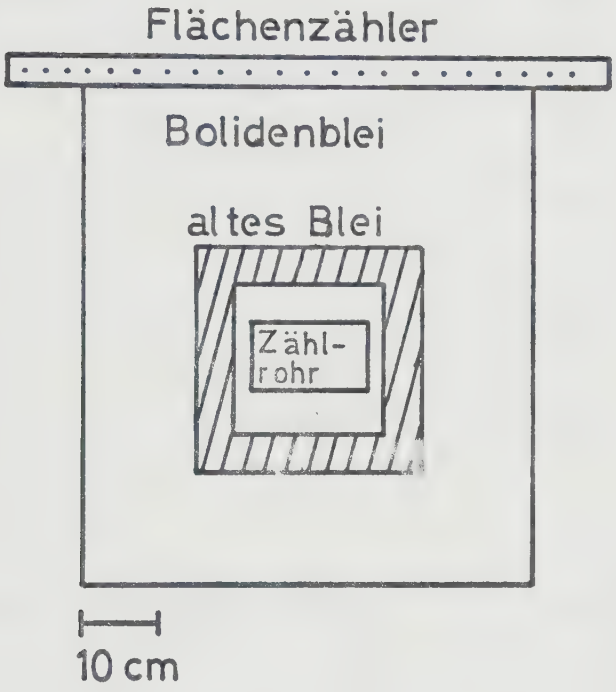
Dimensionen der Zähldrähte,um ein vorzeitiges Durchschlagen in den Endzonen der Zählkammern zu vermeiden. Sämtliche Rahmen sind sehr leicht einzeln zu demontieren und auszuwechseln.

Auf beiden Seiten der mittleren Trägerfolie (Mylar: ~0,5 mg/cm^2, Goldbedampfung einseitig: ~0,6 mg/cm^2) befinden sich die Rahmen der eigentlichen Hauptzähler(1)und(2),die bei Zähler I drei und bei Zähler II bis zu fünf Drähte umfassen. Die Kathoden zu diesen Zähldrähten sind die Trägerfolie (HS c) und das Hochspannungsgitter (HS b). Die endständigen Drähte (4) dienen als Sperrzähler,gleich wie die folgenden Drahtreihen (3) mit den Kathoden (HS b) und (HS a),einer goldbedampften Plexiglasplatte,die in den Boden der Zählkammer eingebaut ist.

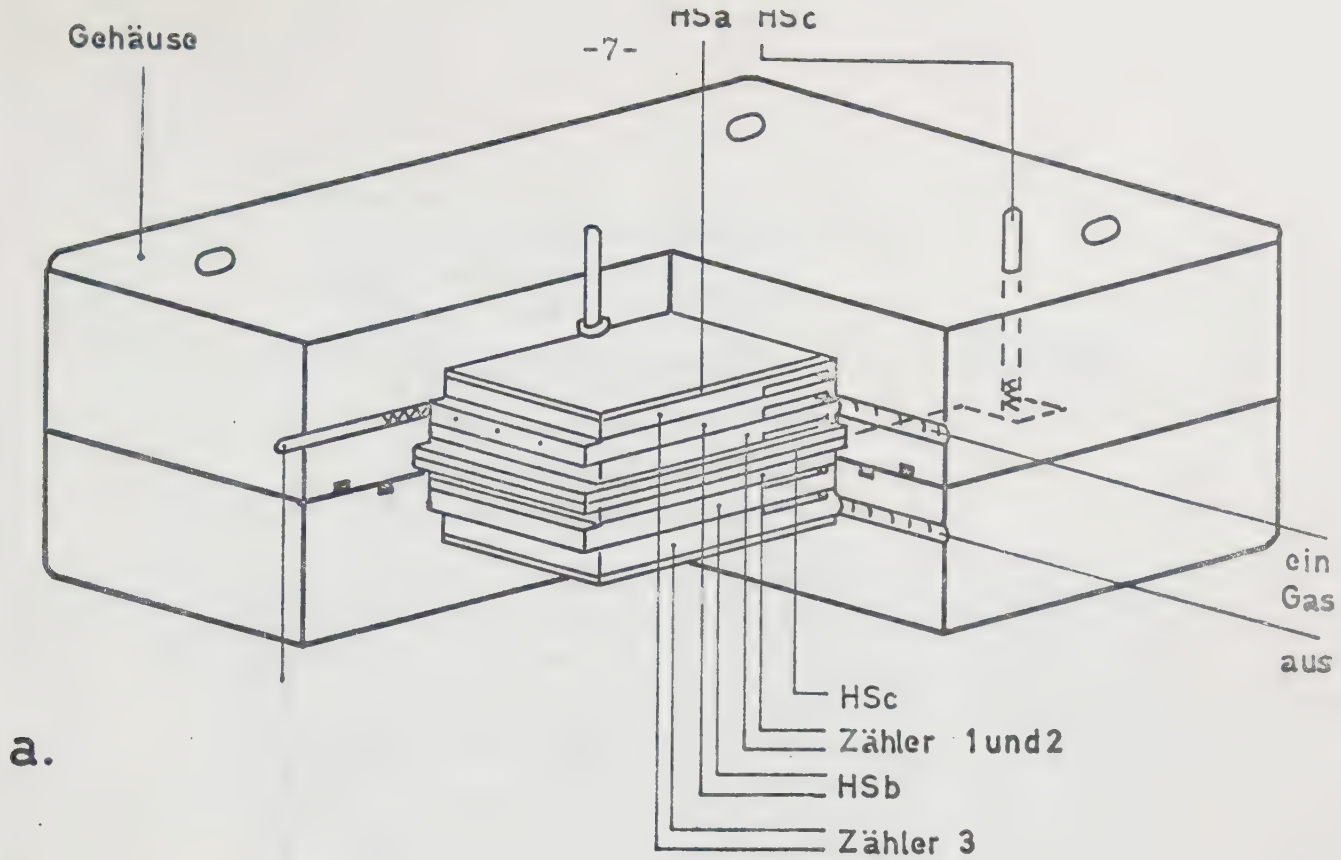
Die Anschlüsse zu den Kathoden werden durch Federkontakte im Deckel und Boden der Zählkammer hergestellt (zu HS a und HS c) die Verbindung zu (HS b) durch eine Vorrichtung wie bei den Anoden (1,2,3,4).

Ein unnötiger Beitrag zum Nulleffekt durch überflüssiges Folienmaterial wird dadurch vermieden,dass die Kathodendrähte (HS b) gegenüber den Anoden der Hauptzähler (1) und (2) leicht verkürzt wurden,und zusätzlich die Mittelfolie (HS c) durch Plexiglasabdeckung in der Drahtrichtung bis zum Beginn der Kathoden abgeschirmt ist.Die Sperrzähler (3) und die Endkathoden (HS a) werden jedoch wieder über die ganze Länge geführt,um eine gute Sperrwirkung zu erhalten.

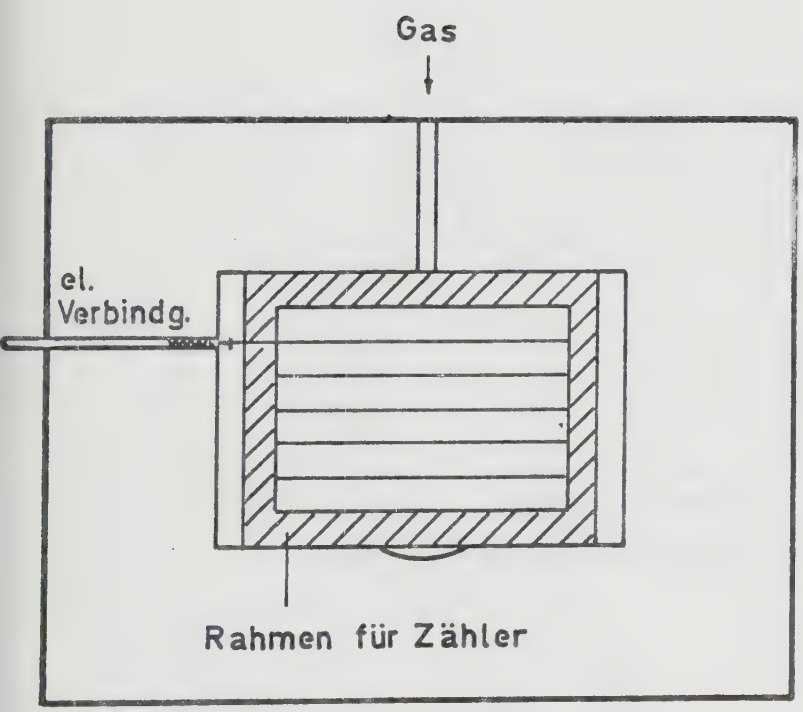
Die Dimensionen der Zähler sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Der Zähler II ist gegenüber dem Zähler I vergrössert worden (Zähldrahtlänge,Zahl der Drähte,aktive Fläche).Er besitzt ausserdem die Möglichkeit,intern mit niederenergetischen Quellen zu eichen,sowie eine "4π-Antikoinzidenz"(siehe A 9.)



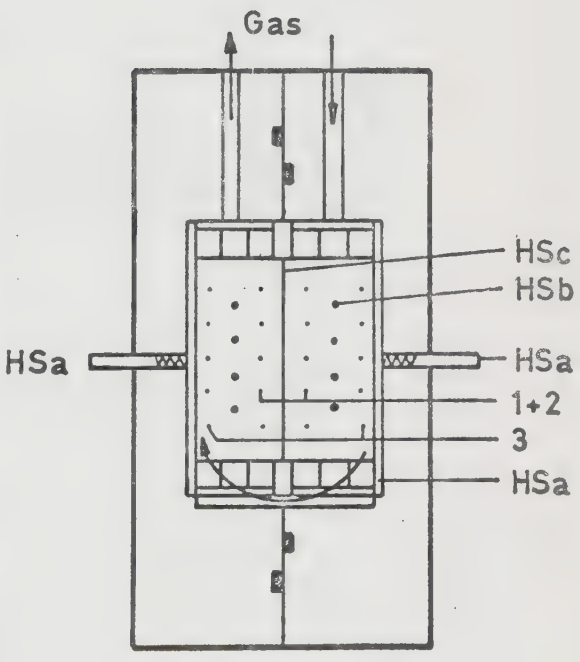
Figur 1 :Schematischer Aufbau des Zählers in der Abschirmung.
Ueber der Abschirmung:Flächenzähler(5).
Stirnseitig befinden sich Tore von gleicher Bleianordnung und Dicke.



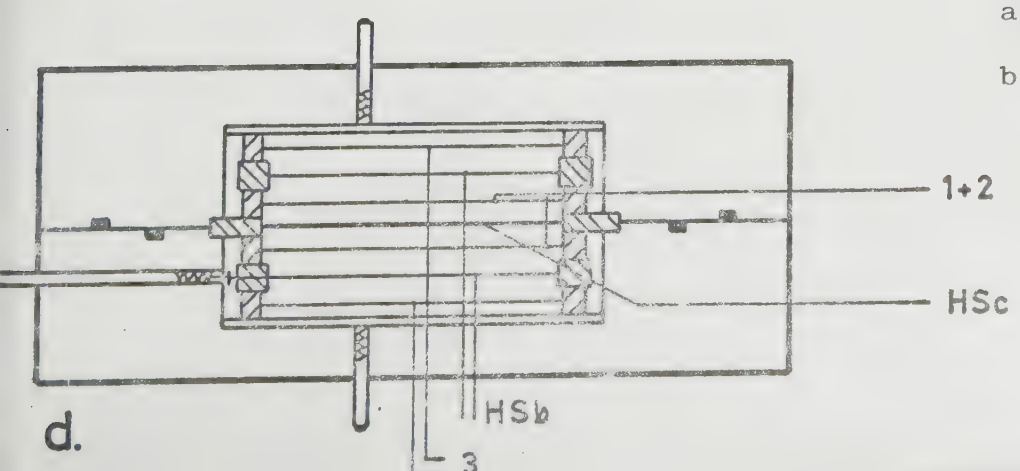
a.



b.



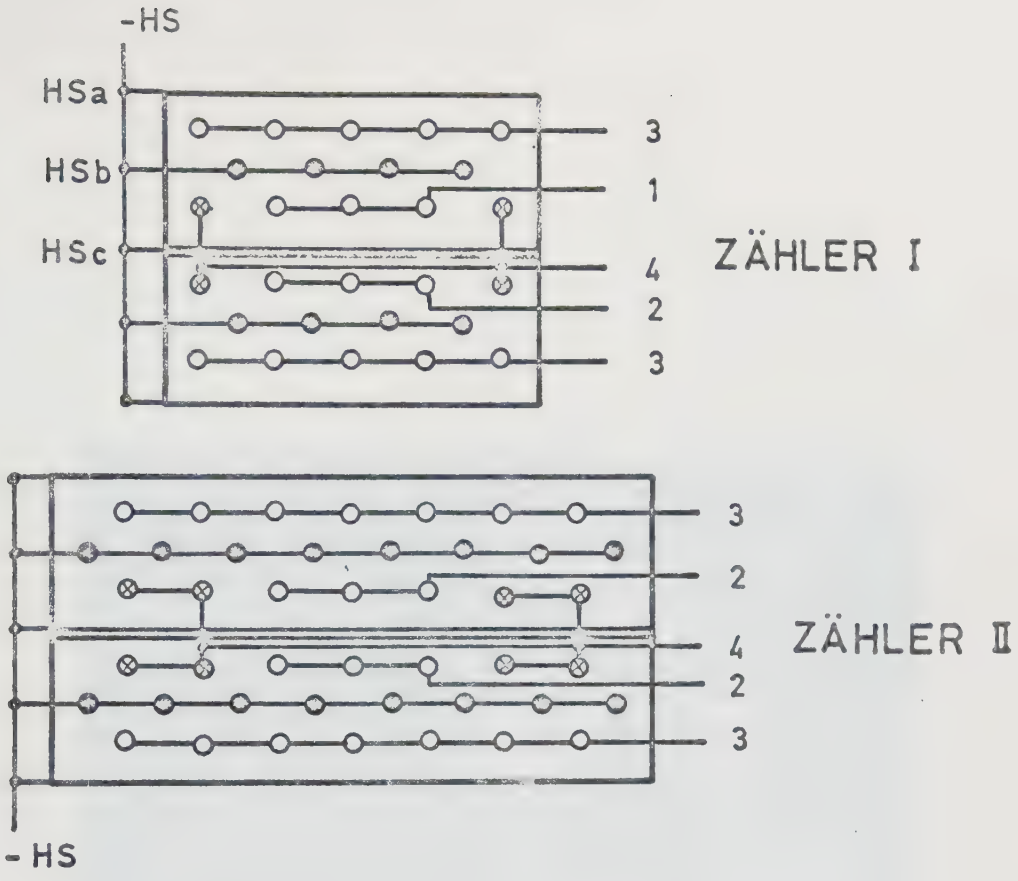
C.



d.

Figur 2:
a) Schematischer Aufbau des Zählers.
b), c) und d) Schnitte durch den Zähler.

(Legende siehe Figuren 3 und 5, sowie Text)



Figur 3

Schematischer Querschnitt durch den Zähler, Anordnung der Folien, Hochspannungs-und Zähldrähte:

HS a Endkathoden (bedampfte Plexiglasplatten)

HS b Hochspannungsdrähte

HS c Probenfolien

1 und 2 Hauptzähler
3 und 4 Sperrzähler

-HS negative Hochspannung

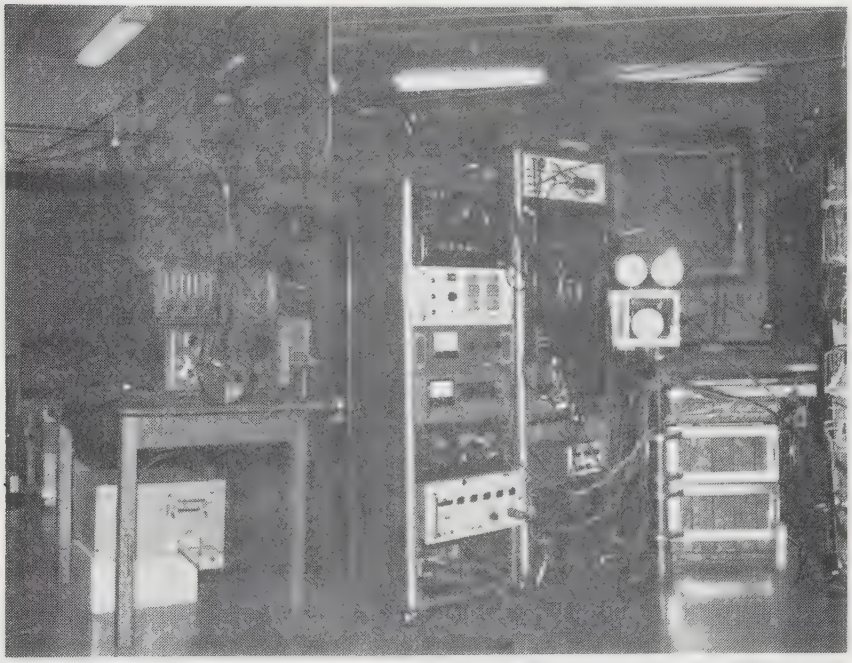
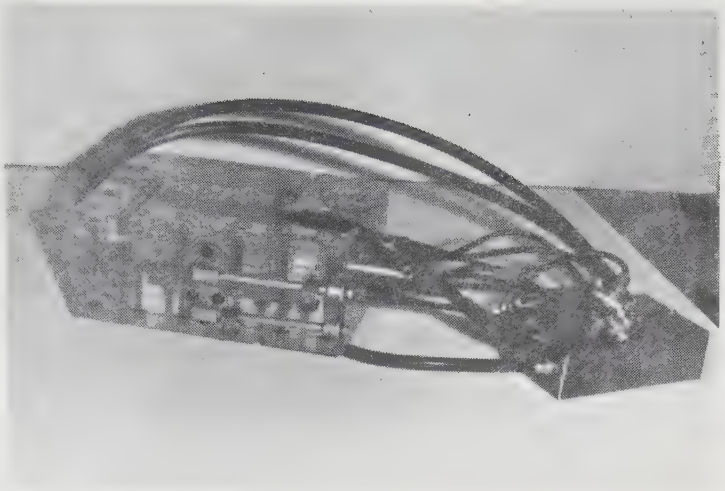
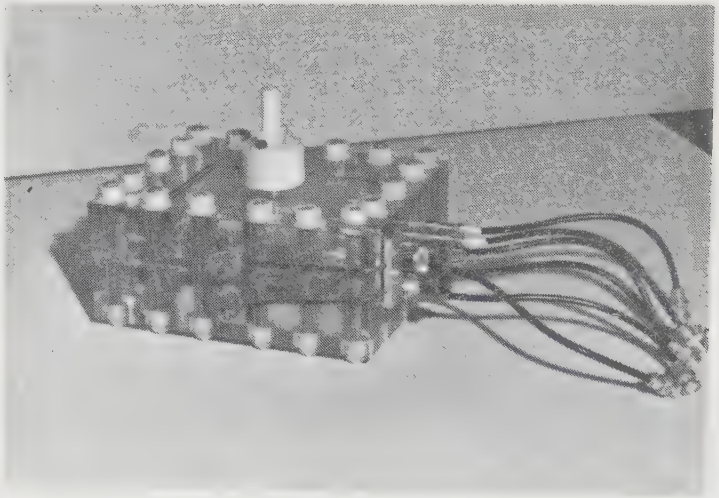
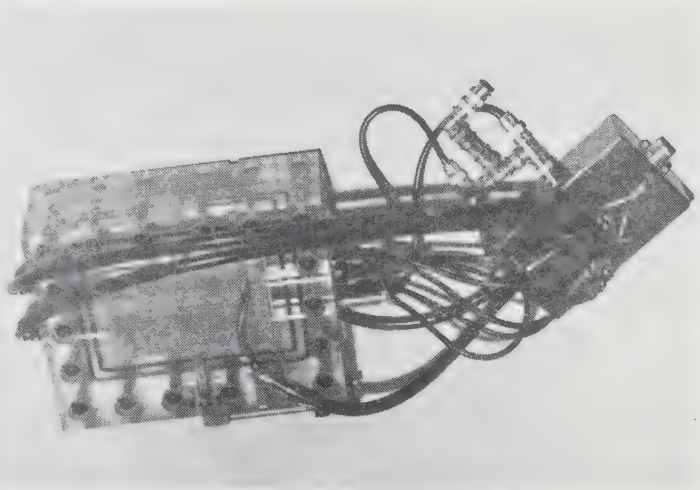


Photo 1

Gesamtansicht der Zählapparatur. Links: Analysator, Mitte: Zählelektronik, rechts: Gasmischanlage und Abschirmung. Ueber der Abschirmung: Flächenzähler.







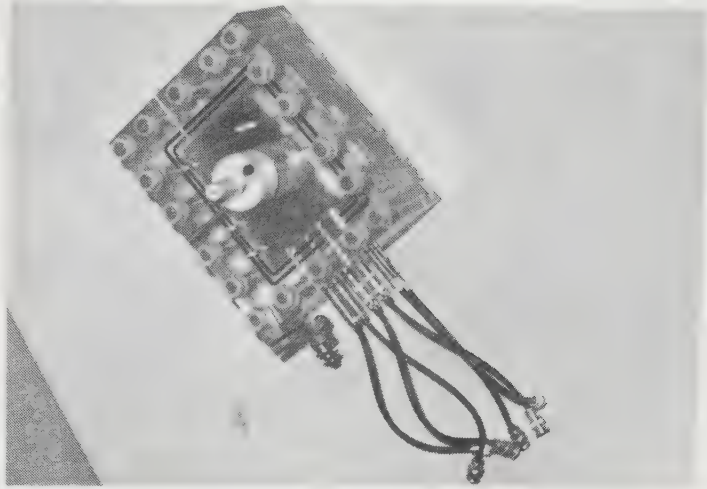


Photo 2: Zähler I

Vorne:Gaszuführung,rechts:Hochspannungdfilter und Zuführungen, sowie Verbindungen zu den Zähldrähten.

Zähler II

Vorne:Gaszuführung,rechts:Verbindungen zu den Zähldrähten,oben:Vorrichtung zum Einschieben von niederenergetischen Eichquellen

Tabelle 2

Dimensionen und Charakteristiken der Zähler I und II

	Zähler I	Zähler II
Aeussere Abmessungen des Zählergehäuses	220 x 180 x 90	230 x 180 x 100
Innere Abmessungen der Zählerkammern	120 x 70 x 20	130 x 90 x 20
Fläche der Mittelfolie	2 x 42 cm^2	2 x 70 cm^2
Aktive Zählfläche	25 cm^2	38 cm^2
Drahtlänge	Anoden: 80 mm	90 mm
	Kathoden: 70 mm	80 mm
Durchmesser der Zähldrähte	Anoden: 0,03 mm(Stahl)	0,03 mm (Stahl)
	Kathoden: 0,15 mm(Stahl)	0,15 mm (Stahl)
Abstand zwischen:		
Anodendrähte in einem Gitter	10 mm	10 mm
Kathodendrähte in einem Gitter	10 mm	10 mm
Anodengitter-Folie	5 mm	5 mm
Anodengitter-Kathodengitter	5 mm	5 mm
Plateaulänge (AK)	350-500 V	600 V
Plateausteigung (AK)	$<$1,5%/100 V	$<$0,5%/100 V
Zählgas	92,5% Argon,7,5%Methan	dito
Zählerdruck	bis 10 atm	dito
Hochspannung	bei p= 6 atm:ca.-3600 V ($\pm$ Hilfsspannungen zur Anpassung der Gasmultiplikation der einzelnen Drahtgruppen)	dito

3. Betrieb und Funktionsweise

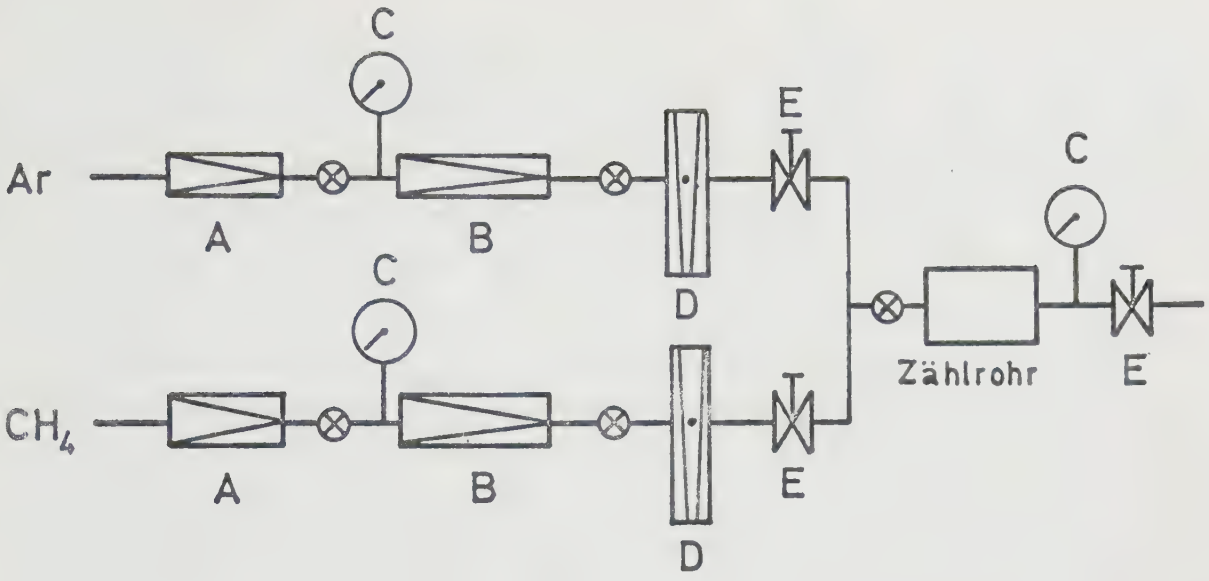
3.1. Zählgas

Der Zähler wird unter hohem Druck mit einem Gasgemisch (92,5% Argon und 7,5% Methan) im Proportionalbereich als Durchflusszähler betrieben. Bei einem Druck von 5 atm ($\sim$10mg/cm^2) z.B. beträgt in diesem Gas die Photoabsorption für X-Rays der Energie 6 keV im Bereiche einer Zählerzelle mehr als 99%, die Reichweite der Photoelektronen weniger als 0,1 mg/cm^2, so dass maximale Ausbeute im Gas erzielt wird.

Das Gas wird in einer Anlage vor dem Zähler gemischt (Figur 4). Der Flaschengasdruck wird vorerst mit einem gebräuchlichen Reduzierventil und danach mit einem Präzisionsventil (Ansprechempfindlichkeit 2 mm Wassersäule) auf den gewünschten Partialdruck verringert. Die Durchflussmenge kann mit Nadelventilen eingestellt und mit Flow-Metern gemessen werden. Anschliessend werden die Gase gemischt und dem Zählrohr zugeführt. Um eine gute Durchflutung der Zählerkammern zu erzielen, gelangt das Gas zuerst in die eine Zählkammer, tritt an dem gegenüberliegenden Ende in die zweite Kammer über und verlässt das Rohr nach der zweiten Kammer (Figur 2c). Mit dem anschliessenden Nadelventil kann der Zählerdruck variiert werden. Mit dieser Anordnung lassen sich eine äusserst konstante Gaszusammensetzung und Gasdruck über sehr lange Zeiten erzielen, was durch Kontrolle der Gasmultiplikation mit externer Eichung geprüft werden kann.

3.2. Funktionsweise des Zählers

Der schematische Aufbau der Anlage ist aus Figur 5 ersichtlich. Der Zähler wird in einer zweiteiligen Bleiabschirmung betrieben. Das Blei der äusseren Schicht stammt aus einer Uran-armen Bleigrube, das der inneren aus einer Ladung eines ca. um 1900 gesunkenen Schiffes. Bei der Umarbeitung der Bleizungen zu Ziegeln wurde sorgfältig jede mögliche Kontamination vermieden(46). Zusätzlich stehen zwei mit Butan-Gas im Proportionalbereich betriebene Sperrzähler (5) von insgesamt ca. 1 m^2 Fläche über der Abschirmung zur Verfügung.



Figur 4

Gasmischanlage

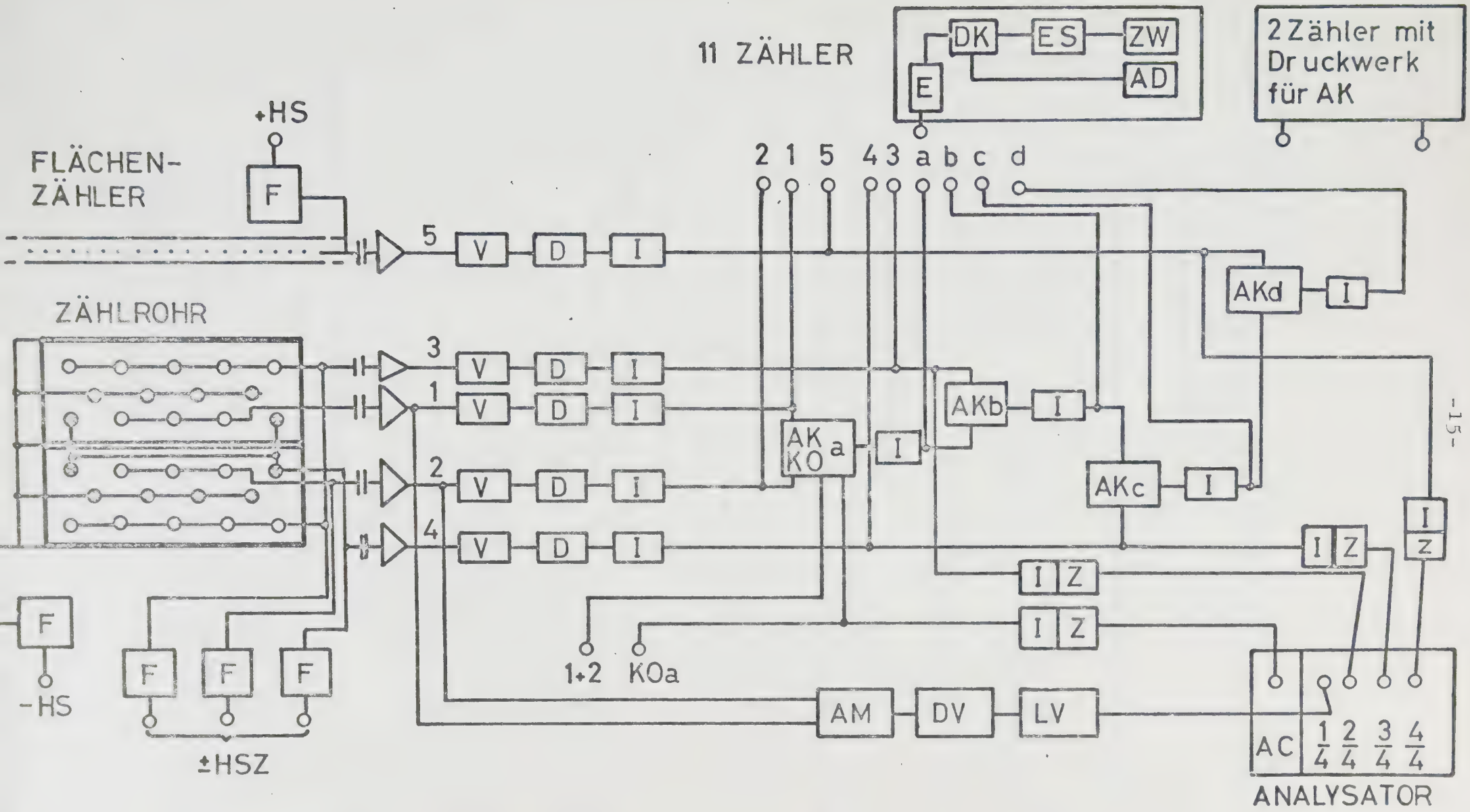
A Reduzierventil
B Präzisionsreduzierventil
C Manometer
D Flow-meter
E Nadelventil

Um einen minimalen Nulleffekt zu erzielen, sind die einzelnen Zähler (1,2,3,4,5) in folgender Anordnung geschaltet (Figur 7): Die beiden Hauptzähler (1) und (2), die der Probenfolie direkt gegenüberliegen, sind untereinander in Antikoinzidenz geschaltet. Diese Antikoinzidenz (AKa) ist nur offen für nicht koinzidente Signale aus (1) und (2); die Signale nach diesem Tor stammen also nur aus dem Bereich der Zähler (1) oder(2) allein. Signale, die herrühren von ionisierenden Teilchen grosser Reichweite((1) und (2) simultan) werden bereits eliminiert. (Zufällige Koinzidenzen aus den beiden Zählern sind bei den vorliegenden Zählraten vernachlässigbar.) Die resultierende Zählrate (AKa) wird dabei gegenüber den Zählraten (1) oder (2) um ca. 50% reduziert.

Im Folgenden wird das Signal (AKa) mit den Impulsen der Sperrzähler durch die Antikoinzidenz (AKb) gesperrt. Durch diese weitere Elimination von Signalen geladener Teilchen grosser Reichweite oder Sekundärteilchen aus der Wechselwirkung von γ-Strahlung mit Gas , Folie oder Wand,die die Bedingung der Antikoinzidenz (AKa) nicht erfüllen,wird die Zählrate auf ca. 3% des ursprünglichen Wertes von (1) oder (2) reduziert.

Im nächsten Schritt werden die Signale von ionisierenden Ereignissen eliminiert,die den Zähler unter kleinem Winkel gegen die Horizontale traversieren. Zu diesem Zweck werden die vier endständigen Drähte (4) der Gruppen (1) und (2) zusammengefasst und ihre Signale einer dritten Antikoinzidenzschaltung (AKc) zugeführt.Die Wirkung dieser Antikoinzidenz ist beträchtlich: es passieren noch ca. 1,5 % der ursprünglichen Signale aus (1) oder (2).Die Reduktion gegenüber der vorangehenden Antikoinzidenzzählrate (AKb) beträgt 50%.

Signale,die diese drei Antikoinzidenzen"überleben",stammen nur noch von Ereignissen,die im Bereiche der Zähler (1) und (2) nicht koinzident ionisieren. Die ionisierenden Komponenten der Höhenstrahlung und Beiträge von radioaktiven Verunreinigungen des Zählergehäuses,sowie der Abschirmung,sind durch diese internen Antikoinzidenzen zum grössten Teil eliminiert.



Figur 5: Blockdiagramm der Zählapparatur
(Legende siehe folgende Seite)

Legende zu Figur 5

1,2	Innere Zählkammern zu je drei Drähten
3	Sperrzähler oben und unten
4	Seitliche Sperrzähler
5	Sperrzähler über der Abschirmung
-HS	Hochspannung(negativ) für Endfolien,Hochspannungsdrähte und Probenfolien
±HSZ	Zusatzspannungen für die Drahtgruppen 2,3 und 4 (positiv oder negativ),zur Anpassung der Gasmultiplikation
F	Hochspannungsfilter
⊳	linearer Vorverstärker (Nuvistoren,max.Verstärkung:10)
V	Linearverstärker
D	Impulshöhendiskriminator
I	Impulsformung und zeitliche Anpassung:je nach Anforderung Univibrator,Univibratorpaare,Phasenumkehrstufen,Kabel-Delay,sowie Emmitterfolger
AK a	Antikoinzidenzschaltung mit Diodentoren:Nur offen für nicht koinzidente Signale aus 1 und 2
Ak b,c,d	Normale Antikoinzidenzschaltungen
KO a	Koinzidenzen von 1 und 2
1+2	Summe aller Signale aus 1 und 2
o—	-Zu Zähleinheiten,bestehend aus Eingangsschaltung(ES),einer oder mehreren Dekaden(DK)mit Anzeige(AZ),Endstufe(ES) mit Zählwerk (ZW) -Zu automatisch druckendem Zählwerk (Zeitintervall:1-100 min) zur laufenden Ueberwachung der Antikoinzidenzzählraten
AM	Analoger Mixer (Addition der Signale von 1 und 2)
DV	Delayverstärker (Verstärkung: 1,variable Verzögerungszeiten)
LV	Linearverstärker (mit Kabel-clipping)
ANALYSATOR	TMC-256-Kanal-Analysator
1/4,2/4,3/4,4/4	Memory-Gruppen des Analysators
AC	Antikoinzidenz(zu allen Memory-Gruppen) des Analysators
1/4	Haupteingang des Analysators:Die drei anderen Gruppen des Analysators sind so geschaltet,dass koinzidente Ereignisse zwischen 1/4 und den Gruppen 2/4,3/4 und 4/4 in den letzteren registriert werden

Was noch bleibt, sind Beiträge des Gases,der Drähte und der Folie, sowie ein geringer Beitrag der Zählkammerwand (Stirnseite).

Eine weitere Reduktion des verbleibenden Nulleffekts lässt sich mit Hilfe der Sperrzähler (5) erzielen: Die Signale aus der Antikoinzidenz (AKc) werden mit den Signalen des Sperrzählers über der Abschirmung (5) in einer weiteren Antikoinzidenzschaltung (AKd) nochmals gesperrt (Reduktion der Zählrate auf ca. 1% des ursprünglichen Wertes aus 1 und 2).Der Grund dieser nochmaligen wirkungsvollen Reduktion liegt in der geringen Ansprechwahrscheinlichkeit für γ-Strahlung von einigen 10 keV und mehr. Da die Absorptionskoeffizienten für Argon in diesem Energiebereich bereits klein sind,können γ-Quanten dieser Energie die Zähler (1) und (2) erreichen,ohne Wechselwirkung in den Sperrzählern (3) oder (4).Falls im Bereiche der Kammern (1) oder (2) nun Wechselwirkung mit dem Gas eintritt, können die resultierenden Photo-oder Comptonelektronen gegen die Mittelfolie laufen,darin stecken bleiben ,und das Signal wird als ein Ereignis aus (1) oder (2) registriert.Dasselbe trifft zu,wenn die Wechselwirkung in der Folie selbst stattfindet,und das Elektron die Folie zwar verlässt,aber seine ganze Energie im Bereich der Kammern (1) oder (2) verliert. Da in einer radioaktiv sauberen Abschirmung wahrscheinlich die vorhandene γ-Strahlung zum grösseren Teil durch Müonen induziert ist, können die oben beschriebenen Effekte durch den Nachweis der Müonen vor dem Eintritt in die Bleiabschirmung (Flächenzähler 5) zum Teil eliminiert werden.

In Tabelle 3 sind Beispiele der Sperrwirkung dieser internen und externen Antikoinzidenzen für zwei Diskriminatoreinstellungen angegeben.

Tabelle 3

Beispiel der Sperrwirkung des Zählersystems I (in der Abschirmung) bei zwei verschiedenen Diskriminatoreinstellungen. Die Zählraten (cpm,integral) beziehen sich auf eine Messung einer radioaktiv sauberen Trägerfolie,bestehend aus zwei einseitig goldbedampften Mylarfolien.

Zähler	1	2	3	4	5
Empfindlichkeit	2,3 mV	2,2 mV	1,6 mV	1,3 mV	1 mV
Zählrate	14,84	15,54	40,60	27,30	10^4
Antikoinzidenzen	AKa	AKb	AKc	AKd	
Zählrate	8,10	0,53	0,21	0,13	

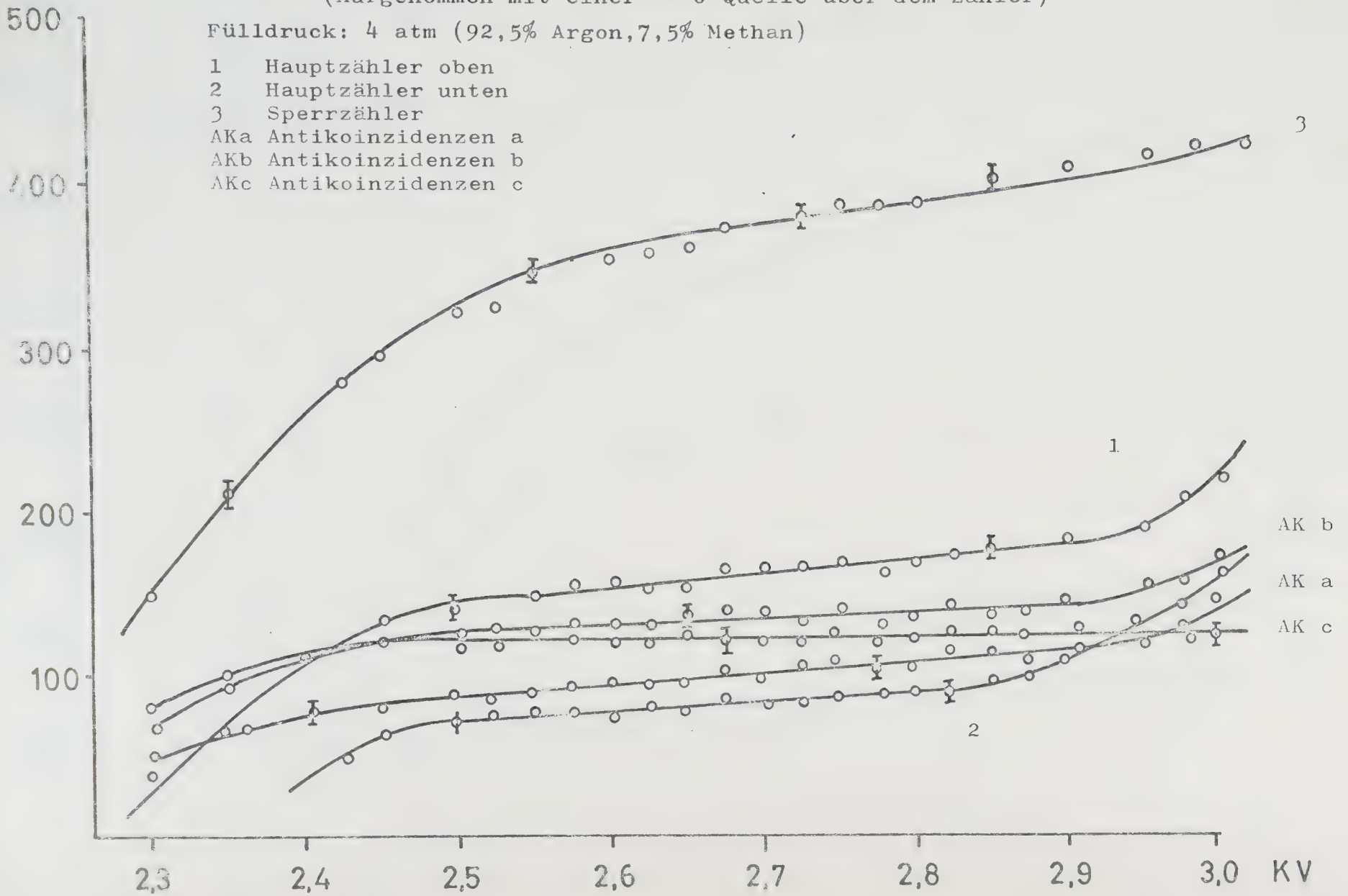
Zähler	1	2	3	4	5
Empfindlichkeit	0,6 mV	0,6 mV	0,4 mV	0,4 mV	0,5 mV
Zählrate	17,72	17,68	44,25	28,50	10^4
Antikoinzidenzen	AKa	AKb	AKc	AKd	
Zählrate	9,60	0,74	0,34	0,22	

Die Zählraten aller Zähler und Antikoinzidenzen,sowie die Summe und die Koinzidenzen der Signale aus (1) und (2) können einzeln auf 11 Zählwerken registriert werden. Es ist so möglich,den Betrieb des Zählersystems laufend zu überwachen und eventuelle Fehler sofort festzustellen.Zusätzlich können die Antikoinzidenzzählraten auf ein automatisch für einstellbare Zeitintervalle integrierendes und druckendes Zählwerk gegeben werden.Damit können die Messungen laufend statistisch überprüft werden. Allfällige externe sporadische Störimpulse können so erfasst und ohne wesentliche Messzeitverluste eliminiert werden.

Für die Analyse der Impulshöhenverteilung wird ein 256-Kanal-Analysator verwendet,dessen Memory in vier Teile zu je 64 Kanälen aufgeteilt werden kann.Das oben beschriebene Antikoinzidenzsystem zur Bestimmung der Nettozählraten der Hauptzähler (1) und (2) wird sinngemäss in Koinzidenzanordnung wiederholt, um das Spektrum der Signale aus dem Bereich dieser Zähler zu erhalten:
Die Signale aus (1) und (2) werden direkt nach den Vorverstärkern analog summiert (AM),über einen Delay-Verstärker verzögert,mit einem Linearverstärker verstärkt und dem ersten Viertel (1/4) des Analysators zugeführt. Die Koinzidenzen (KOa) aus (1) und (2) liefern nach entsprechender zeitlicher Anpassung das Signal für den Antikoinzidenzeingang des Analysators (AC). Die Signale aus den Zählern (3),(4) und (5) werden (zeitlich angepasst) den restlichen Memory-Gruppen (2/4),(3/4) und (4/4) des Analysators zugeleitet,wobei die letzteren für Signale ,die zu (1/4) koinzident eintreffen, bevorzugt sind. So kann in (1/4) das Netto-Spektrum der Signale aus (1) und (2) registriert werden,und in (2/4),(3/4) und (4/4) die Spektren der Impulse,die durch die Zähler (3),(4) und (5) gesperrt werden.
Lässt man den Verstärker (LV) bei einer Signalgrösse übersteuern,die noch vollständig vom Analysator akzeptiert wird(d.h. der Uebersteuerungspeak erscheint ganz im Analysator),so hat man jederzeit die Möglichkeit,die exakte Uebereinstimmung des integralen Impulshöhenspektrums mit den Antikoinzidenzzählraten zu überprüfen.

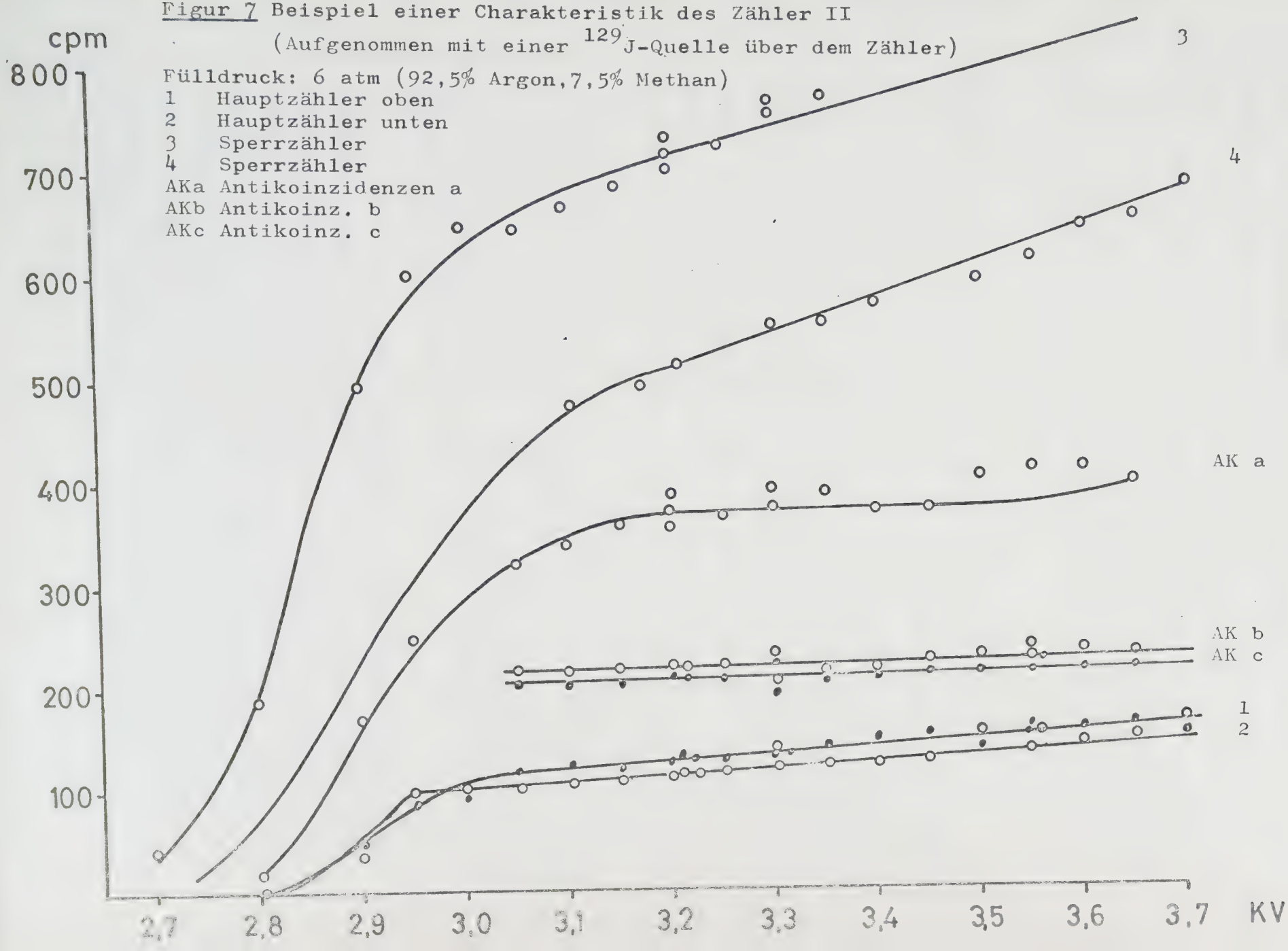
4. Charakteristiken der Zähler

Beispiele von Charakteristiken sind in Figur 6 und 7 dargestellt. Erwartungsgemäss ist die Qualität der Antikoinzidenzplateaus des Zähler II besser,nicht nur infolge des höheren Druckes, sondern auch,weil die Drahtlänge gesteigert wurde,und somit


cpm
500
400
300
200
100
Figur 6:Beispiel einer Charakteristik des Zählers I.
(Aufgenommen mit einer 129J-Quelle über dem Zähler)
Fülldruck: 4 atm (92,5% Argon,7,5% Methan)
1 Hauptzähler oben
2 Hauptzähler unten
3 Sperrzähler
AKa Antikoinzidenzen a
AKb Antikoinzidenzen b
AKc Antikoinzidenzen c
3
1
2
AK b
AK a
AK c
2,3
2,4
2,5
2,6
2,7
2,8
2,9
3,0
KV

Figur 7 Beispiel einer Charakteristik des Zähler II
(Aufgenommen mit einer ^{129}J-Quelle über dem Zähler)

Fülldruck: 6 atm (92,5% Argon, 7,5% Methan)
1 Hauptzähler oben
2 Hauptzähler unten
3 Sperrzähler
4 Sperrzähler
AKa Antikoinzidenzen a
AKb Antikoinz. b
AKc Antikoinz. c



die Randeffekte weniger ins Gewicht fallen. Der Einfluss der Randzonen (inhomogene Felder und damit gestörte Gasmultiplikation) nimmt mit dem Quotienten aus Durchmesser der Zählerzelle und Zähldrahtlänge zu,und die Verluste infolge elektronegativer Verunreinigung des Zählgases wachsen proportional zum Durchmesser der Zählerzelle.Diese beiden Effekte sind optimal niedrig gehalten durch geeignete Wahl der Drahtabstände und Drahtlängen (45,46).

5.Reproduzierbarkeit und Konstanz der Zählbedingungen

Um den Zähler unter reproduzierbaren Bedingungen zu betreiben, wird folgendermassen vorgegangen:
Das Mischungsverhältnis der Gase,der Gasdruck und die externe elektronische Verstärkung werden fest eingestellt und konstant gehalten.Speziell (1) und (2) müssen bezüglich der Verstärkung identisch sein,was jederzeit mit Hilfe des Analysators kontrolliert werden kann.Sodann wird die Gasmultiplikation der Zähler (1) und (2) mit einer externen Eichquelle exakt aufeinander abgestimmt. Ebenso wird mit den Sperrzählern (3) und (4) verfahren,wobei für diese Zähler die Gasmultiplikation zweckmässigerweise etwas höher gehalten wird. Die Korrektur der einzelnen Zählergruppen geschieht mit Hilfe von positiven und negativen Zusatzspannungen (HSZ).Auf diese Art ist es möglich,den Zähler jederzeit unter definierten und reproduzierbaren Zählbedingungen zu betreiben und Messungen direkt miteinander zu vergleichen.

Die Konstanz der Zählbedingungen während einer Messung kann durch regelmässige Eichungen mit externen Quellen überprüft werden.Die Anlage wird in einem vollklimatisierten Raum betrieben und weist eine ausserordentliche Konstanz auf. Ueber Messdauern von mehreren Wochen konnte nie eine grössere Abweichung als ein Kanal (Analysator) beobachtet werden,was einer Drift von ca. 0,2 keV entspricht. Nach Oeffnen des Zählers, Auswechseln der Trägerfolie und Wiederherstellung des Zählgasdruckes betrug die benötigte Korrektur der Hochspannung zur

Wiederherstellung der ursprünglichen Zählbedingungen nie mehr als ±10 Volt.

6. Proportionalität und Energieeichung

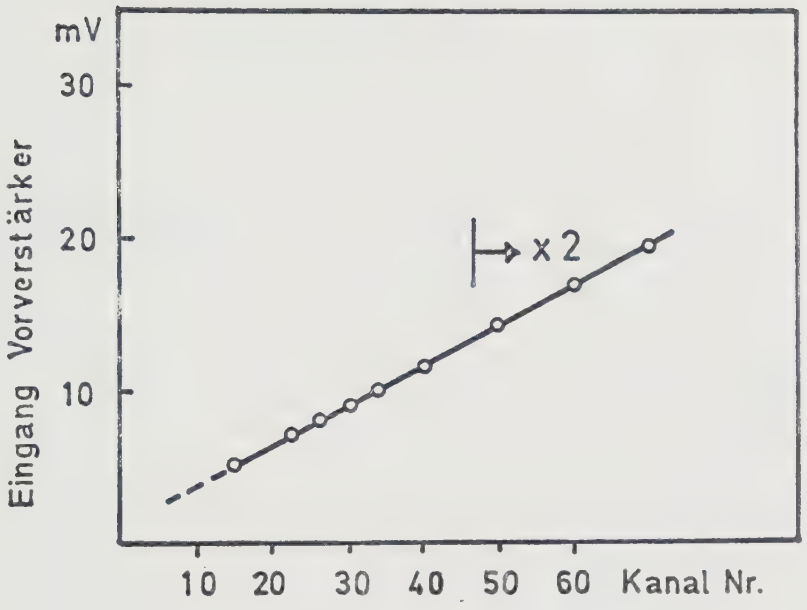
Figur 8 zeigt die Linearität der externen Verstärkung (Vorverstärker VV, Linearverstärker LV und Analysator) für einen Energiebereich zwischen ca. 1,5 und 30 keV.
Für die Ueberprüfung der Proportionalität des Zählers und für die Energieeichung werden externe und interne Eichquellen verwendet. Infolge der starken Zählerwand können externe Eichpräparate nur bis zu einer Energie von ca. 13 keV benützt werden. Unterhalb dieser Energie wird mit internen Eichquellen gearbeitet. Als externe Eichquellen werden

^{129}J (EC, kein γ: 29,6 keV)
^{241}Am (Linie von 17,6 keV)
und ^{57}Co (Linie von 14,4 keV)

verwendet und als interne Quellen

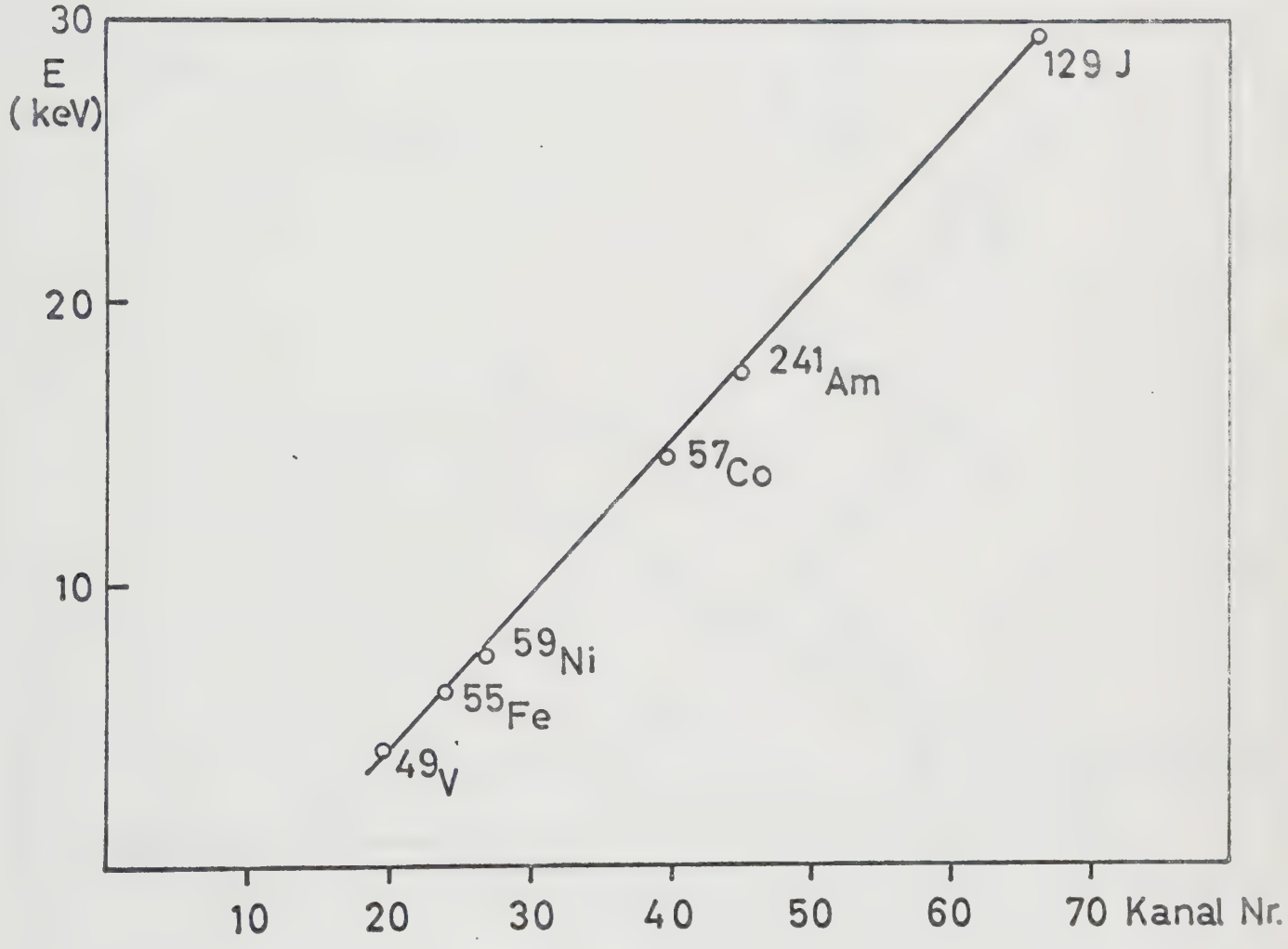
^{59}Ni (EC, kein γ: 6,9 keV)
^{55}Fe (EC, kein γ: 5,9 keV)
und ^{49}V (EC, kein γ: 4,5 keV).

Zusätzliche Eichmöglichkeit bietet der Argon-escape-peak (2,9 keV für ^{55}Fe) und die Comptonkante für ^{129}J.
Die internen Standards sind als Flächenquellen zwischen den Trägerfolien hergestellt. Damit lässt sich gleichzeitig die Ausbeute des Zählers für eine Präparatschichtdicke von $\sim$0 mg/cm^2 bestimmen.
Die Proportionalität des Zählers ist aus Figur 9 ersichtlich. Figur 10 zeigt Spektren der verwendeten Eichquellen.
Die Energieauflösung des Zählers bei einem Fülldruck von 6 atm beträgt $\sim$20% (Halbwertsbreite). Als Beispiel der Energieauflösung zeigt Figur 11 das Spektrum einer internen Eichquelle aus trägerfreiem ^{55}Fe, welches praktisch keine Störaktivitäten enthält.



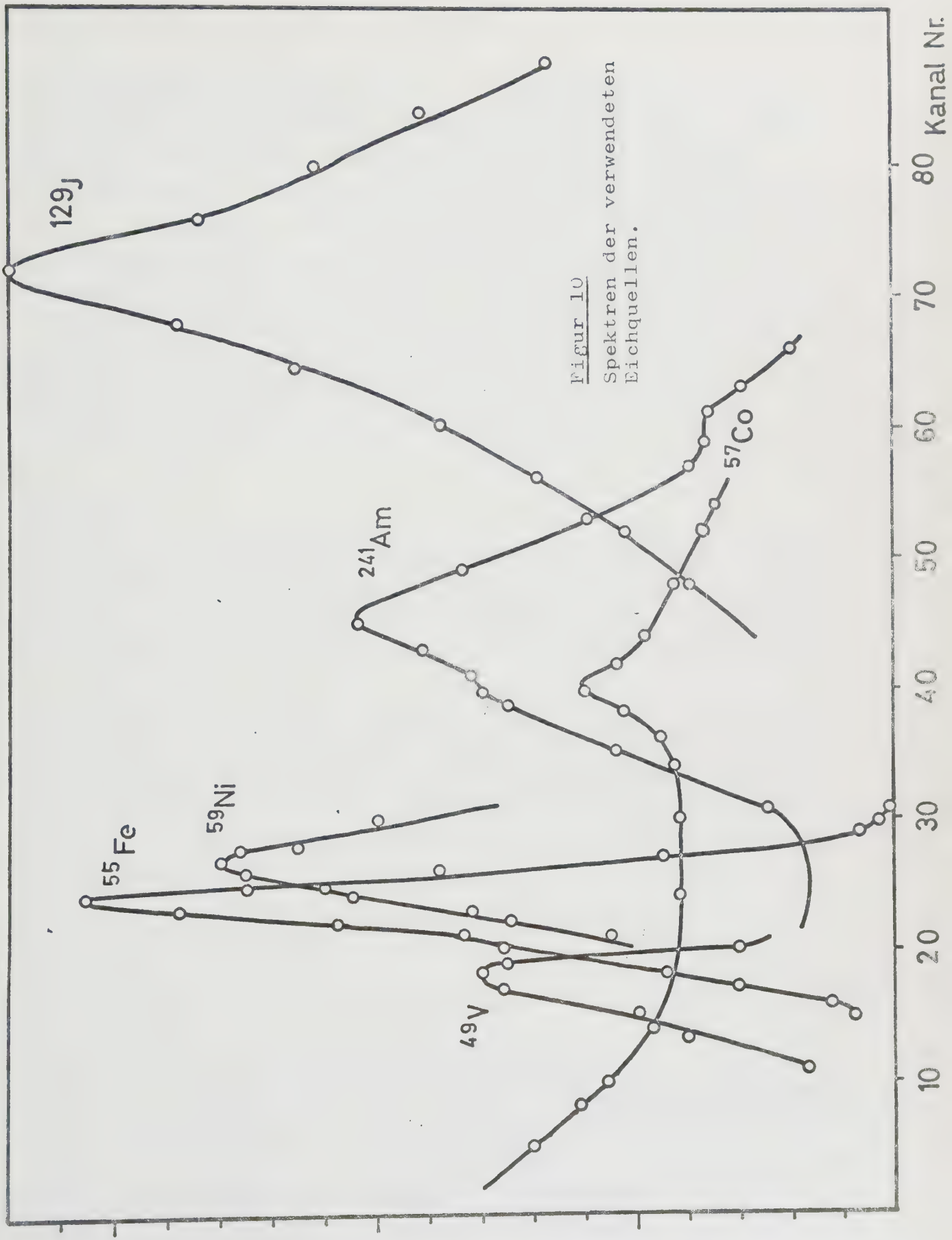
Figur 8

Linearität der externen Verstärkung
(Vorverstärker, Verstärker, Analysator)



Figur 9

Proportionalität des Zählers



Figur 10
Spektren der verwendeten Eichquellen.

Für die Energieeichung und zur Ueberprüfung der Konstanz und Reproduzierbarkeit der Zählerbedingungen während einer Messung wird die niederenergetische Energieeichung (mit internen Quellen) vor und nach einer Messung,sowie eventuell in der Zwischenzeit durchgeführt,da zu diesem Zweck der Zähler demontiert werden muss.Bei konstanter und geprüfter Proportionalität (interne und externe Eichquellen simultan) genügt aber für die laufende periodische Ueberwachung eine Eichung mit externen Quellen. Eine diesbezügliche Verbesserung ist bei Zähler II angebracht,bei dem die Möglichkeit besteht , mit internen Quellen zu eichen ohne Demontage des Zählers.

7.Ausbeute

Mit diesem Zählersystem lassen sich dank der 4π-Anordnung und des verwendeten Zählgases bei Energien um 5 keV relativ hohe Ausbeuten erzielen,wobei es die niedrige Fluoreszenzausbeute für K-Einfänger im Bereiche von Z=20 zu berücksichtigen gilt.

Die Ausbeuten für die Isotope ^{49}V und ^{55}Fe wurden gemessen, diejenige von ^{53}Mn berechnet und mit der Interpolation aus den gemessenen Werten für die übrigen Isotope verglichen. Tabelle 4 zeigt die Ausbeuten für Präparatschichtdicken von ~0 mg/cm^2 für eine doppelte,je einseitig goldbedampfte Trägerfolie aus Mylar.

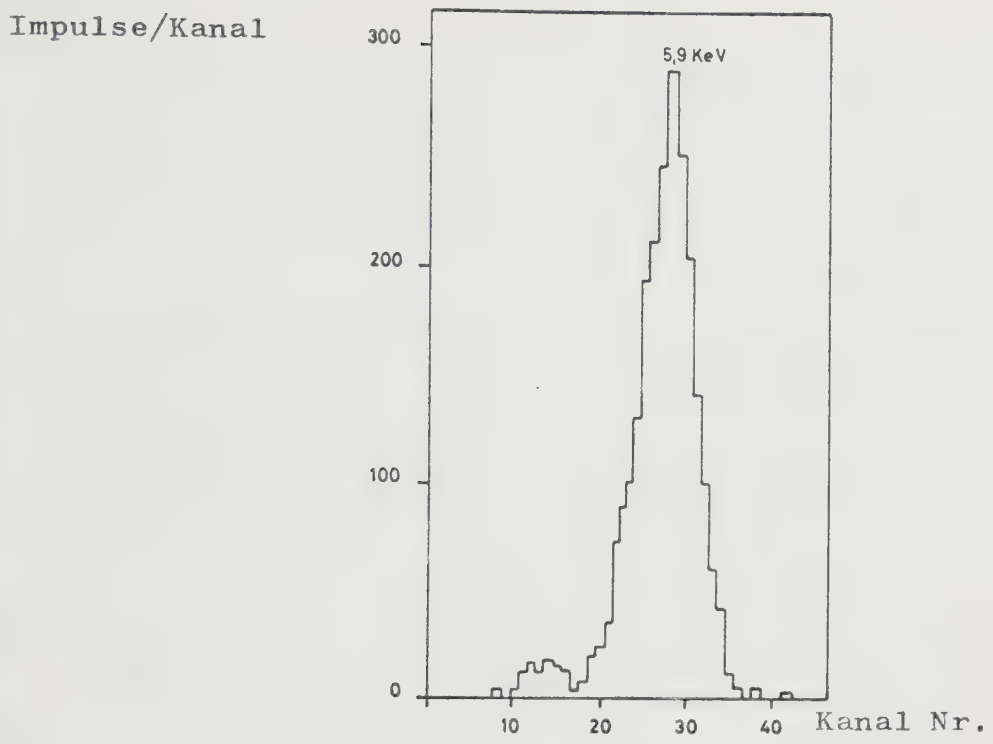
Tabelle 4

Isotop	Ausbeute Fluoreszenz	Trägerfolie	Gas	total berechnet	total gemessen
^{49}V	0,228	0,543	>0,99	0,123	0,114±0,015
^{53}Mn	0,265	0,660	>0,99	0,173	
^{55}Fe	0,293	0,715	>0,99	0,207	0,180±0,027

8. Nulleffekt

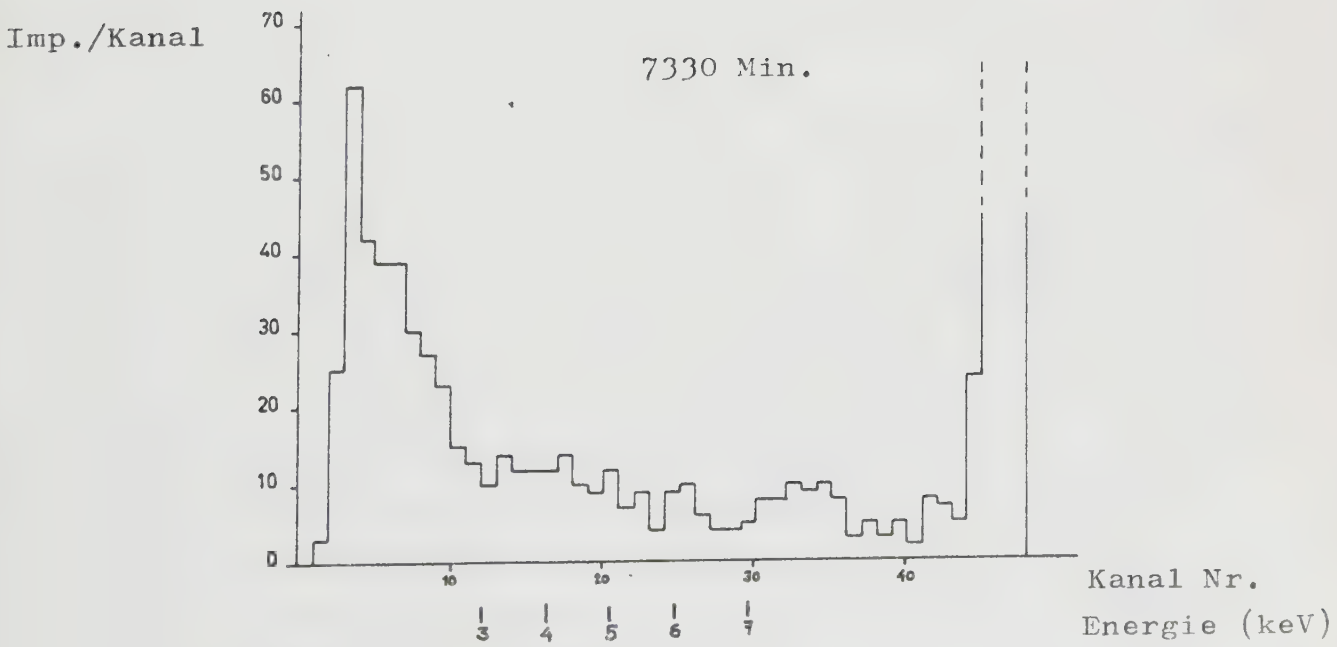
Dank radioaktiv sauberen, ausgesuchten Materialien und der wirksamen internen und externen Antikoinzidenzen kann ein äusserst niedriger Nulleffekt erreicht werden. Der resultierende Nulleffekt dieser Zähleranordnung stammt hauptsächlich von radioaktiven Verunreinigungen der Folie und von nicht gesperrten Photo- und Comptonelektronen aus der Folie. Der Beitrag des Zählgases ist äusserst gering und dagegen vernachlässigbar klein, was aus der Tatsache hervorgeht, dass der Nulleffekt praktisch vom Zählerdruck unabhängig ist. Einen ebenfalls geringen Beitrag liefern die stirnseitigen Kammerwände sowie die Zähldrähte. Zum heutigen Zeitpunkt wird es immer schwieriger, radioaktiv sauberes Kathodenmaterial zu erhalten, das den Anforderungen der Low-Level-Technik genügt. Es wurden insgesamt 12 verschiedene Folien aus Kunststoffmaterialien und Aufdampfungen(Aluminium, Gold) mit diesem Zähler getestet, bis schliesslich ein verwendbarer Folientyp gefunden werden konnte. Die verschiedenen analisierten Folien ergeben zum Teil Nulleffekte, die im ganzen Energiebereich bis zu einem Faktor 30 über dem niedrigsten Wert liegen!
Der niedrigste Nulleffekt wurde in einer Trägerfolie(HS c) bestehend aus zwei einseitig goldbedampften Mylarfolien erreicht(integrale Zählraten Tabelle 3). Ein Beispiel eines derartigen Nulleffektspektrums ist in Figur 12 dargestellt. Bei einer Auflösung von 20% beträgt demnach der Nulleffekt für die Energie des ^{53}Mn($0{,}005 \pm 0{,}001$) cpm/Halbwertsbreite und für die Energie des ^{59}Ni($0{,}007 \pm 0{,}001$) cpm/Halbwertsbreite.

Der Beitrag des Zählgases(kommerzielles, nachgereinigtes Argon) ist, wie bereits gesagt, sehr gering. Eine Schwierigkeit ergibt sich nur, wenn im Bereich von 2,8 keV gemessen werden soll. Während des Betriebes des Zählers seit Ende 1967 bis heute traten sporadisch Peaks im Nulleffekt bei einer Energie von ca. 2,8 keV auf, was auf 37-Ar-Aktivität zurückzuführen ist. Die beobachteten Aktivitäten betrugen bis zu 0,012 dpm/lt.Ar, ein Wert, der die durch die kosmische Strahlung erzeugte tropo-



Figur 11

Spektrum von ^{55}Fe



Figur 12

Nulleffektsspektrum für eine doppelte Trägerfolie

sphärische Aktivität übersteigt (47).Drei Fälle konnten später mit nuklearen Tests korreliert werden,da das Argon der verwendeten Tanks in den auf Nukleartests folgenden Zeitabschnitten aus der Atmosphäre gewonnen wurde.

9.Weiterentwicklung:Zähler II

An einem weiteren Zähler wurden mit folgenden Aenderungen Verbesserungen versucht:

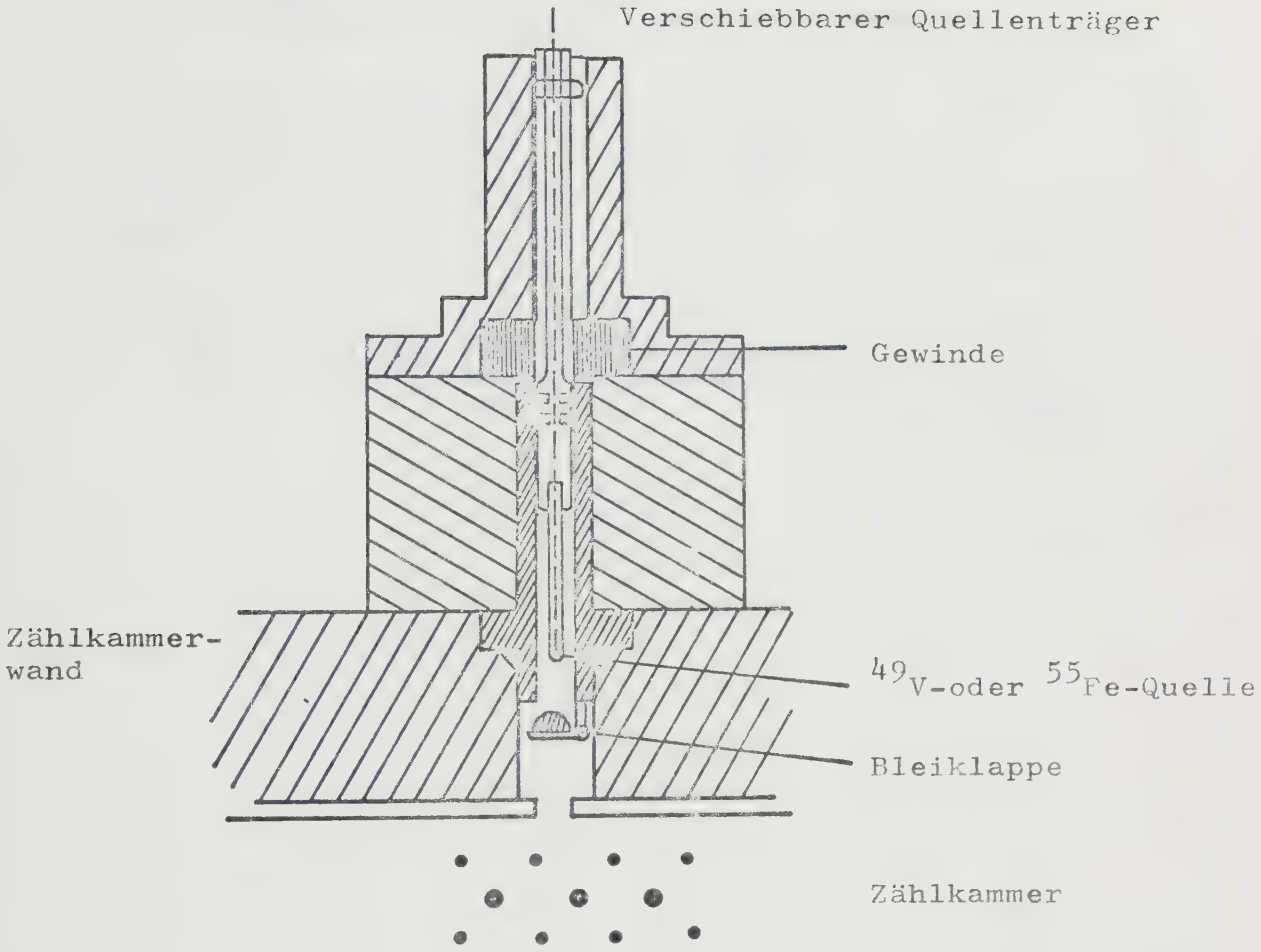
-Vergrösserung der aktiven Zählerfläche.
-Möglichkeit der internen Eichung des Zählers während des Betriebs.
-Versuch einer vollständigen "4π-Antikoinzidenz" durch Abschirmung der noch offenen Zählerenden mit Hilfe einer zusätzlichen Antikoinzidenzschaltung über die Hochspannung.

Die Zahl der Drähte,sowie die Zähldrahtlänge wurden vergrössert (Figur 3,Tabèlle 2).Die Hauptzähler (1) und (2) können bis je 5 Drähte umfassen,oder aber die Zahl der Sperrdrähte (4) kann verdoppelt werden(Erhöhung der Wahrscheinlichkeit für Wechselwirkung seitlich einfallender Teilchen),was zusammen mit der Erhöhung der Zahl der Kathodendrähte (HS b,Verbesserung der Feldverhältnisse) eine verbesserte Sperrwirkung ergibt.

Der Nachteil der fehlenden Eichmöglichkeit für niedrige Energien während des Zählerbetriebes wurde wie folgt behoben: In den Deckel des Zählergehäuses ist ein verschiebbarer Plexiglasstift(mit laufender O-Ring Dichtung) eingelassen,dessen Spitze eine geringe in Araldit eingegossene ^{49}V-oder ^{55}Fe-Aktivität trägt (Figur 13).Im Verlauf einer Messung kann nun diese Quelle (welche normalerweise im Zählergehäuse zurückgezogen liegt) in die Zählkammer hineingeschraubt werden,wobei durch die Quelle selbst vor dem Eintritt in die Zählkammer ein kleiner Bleideckel aufgestossen wird,der sich beim Zurückziehen automatisch wieder schliesst.Dieser Deckel verhindert, dass im Ruhezustand X-Rays der Quelle das Zählervolumen erreichen können.Die Quelle wird bis in die Nähe der Zähldrähte (1) eingeführt,und die Eichung von Zähler (1) und (2) kann durchgeführt werden,ohne dass die Zähleigenschaften verändert werden.

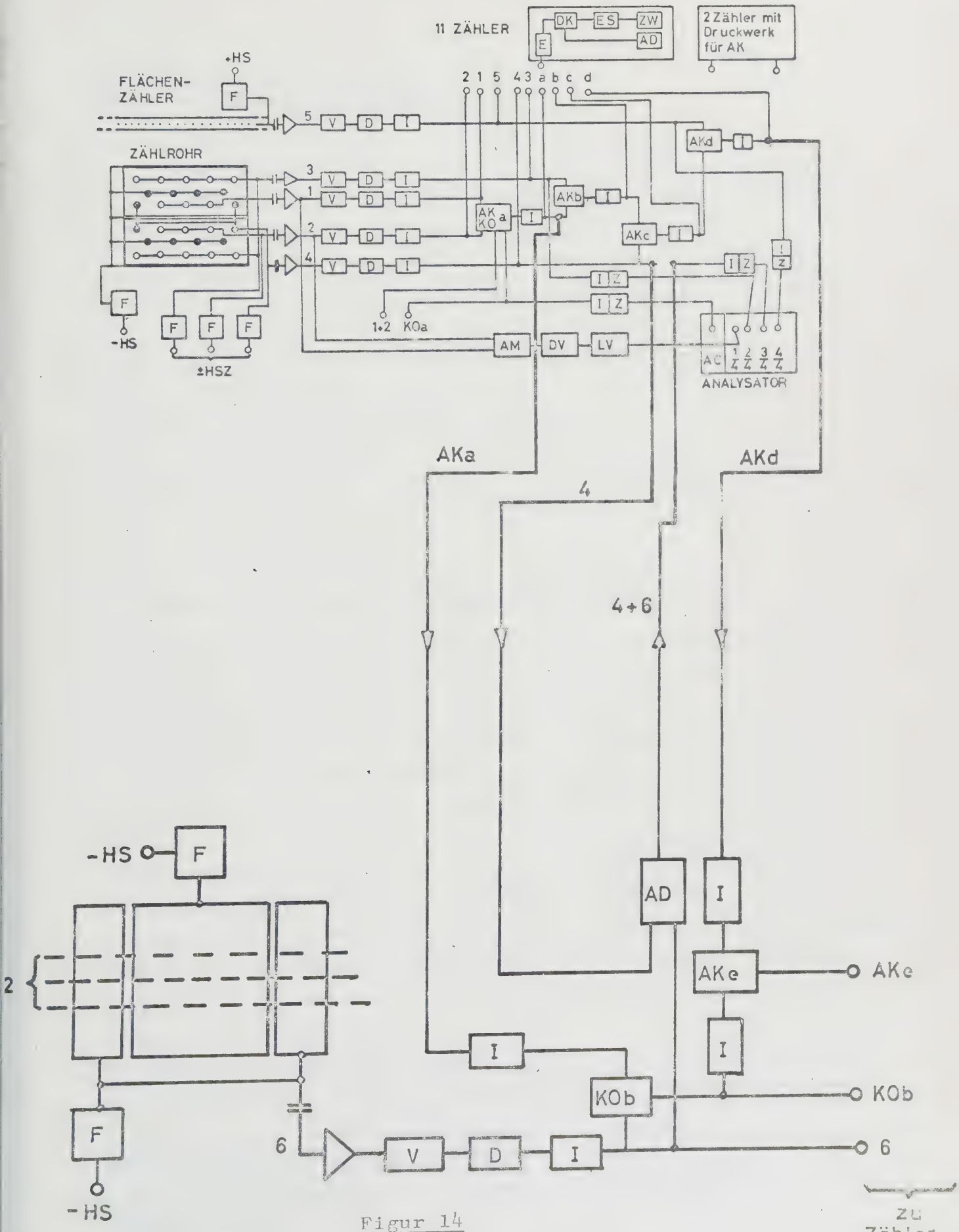
Nach erfolgter Eichung wird die Quelle wieder zurückgenommen und die Messung gestartet. Eine Erhöhung des Nulleffekts ist nicht festzustellen, wenn als Eichsubstanzen Carrier-freie Isotope verwendet werden, so dass keine höherenergetischen Störaktivitäten vorhanden sind.

Bei diesem Zähler wurde erstmals auch der Versuch gemacht, die noch unabgeschirmten stirnseitigen Zählerenden mit einer Antikoinzidenz zu versehen. Zu diesem Zweck werden die Randstreifen auf beiden Seiten der Trägerfolie(Figur 14) elektrisch vom verbleibenden Mittelteil, der das zu messende Präparat trägt, getrennt und die benötigte Hochspannung separat angelegt. Sodann werden die an den Randpartien der Folie beobachtbaren Impulse durch die positiven Ionen über einen Kondensator abgegriffen und gleich wie ein Zählimpuls behandelt. Fordert man nun Koinzidenz zwischen den Signalen der Randzonen der Mittelfolie(6) und den Signalen aus den Zählern (1) oder (2) allein(AK a), so erfasst man Ereignisse, die im Bereiche der Randzonen und der Hauptzähler gleichzeitig ionisieren, anderweitig aber nicht gesperrt werden. Solche Ereignisse stammen zum grössten Teil aus der Kammerwand und den Endzonen der Folie. Mit Hilfe dieser Koinzidenzen(KO b) werden anschliessend in der Antikoinzidenz(AK e) die Signale(AK d) ein letztes Mal gesperrt. Gleichzeitig werden die Signale aus (6) mit z.B. den Signalen(4) addiert, um die Koinzidenzen (KO b) auch im Analysator zu unterdrücken. Die Reduktion der integralen Zählrate (AK e) gegenüber (AK d) beträgt bis zu 3% und ist von der Breite der Randstreifen abhängig. Diese geringe Reduktion erklärt sich dadurch, dass durch die Feldbedingung der Randzonen die Gasmultiplikation geschwächt wird und die oben beschriebenen Ereignisse ohnehin schlecht ansprechen.



Figur 13

Vorrichtung zur internen Energieeichung
mit niederenergetischen Quellen



Figur 14

Blockdiagramm der Zusatzschaltungen für Zähler II

(Legende siehe folgende Seite)

Legende zu Figur 14

⊣▷	Linearer Vorverstärker
D	Diskriminator
V	Linearverstärker
I	Impulsformung (Univibrator,Univibratorpaare,Phasenumkehrstufe,Kabel-Delay,sowie Emmitterfolger)
6	Signale ab Hochspannung (Randzonen der Mittelfolie)
KO b	Koinzidenzschaltung zwischen den Signalen AKa und 6
AD	Mixer (Addition der Signale 4 und 6)
AK e	Antikoinzidenzschaltung zwischen den Signalen AK d und den Koinzidenzen KO b.

(Uebrige Bezeichnungen siehe Figur 5)

---

10. Messung von MnO_2 aus Tiefseesedimentproben

Es wurden zwei MnO_2-Proben* aus Tiefseesedimenten untersucht ((16) A-Core und C-Core).Die beiden Proben wurden mit einer $1^o/oo$-Agarlösung in Mengen von 150 mg zwischen den Folien deponiert.Die verwendete Agarlösung wurde zuvor auf allfällige radioaktive Beiträge untersucht.Es konnte dabei kein Unterschied zum Nulleffekt der leeren Trägerfolie festgestellt werden.

Die Energieeichung mit internen und externen Eichquellen wurde während der Messung wiederholt durchgeführt;alle 24 Stunden wurde zudem extern geeicht. Die Ausbeute für die Energie des Mn betrug für die Schichtdicke der Probe 8,5% . Die gemessenen Spektren der Proben aus A-Core und C-Core sind in Figur 15 aufgetragen.

Es zeigt sich,dass das chemisch aus den Sedimentproben abgetrennte MnO_2 radioaktiv äusserst sauber ist.Die gemessenen

---

*Die MnO_2-Proben wurden uns freundlicherweise von Prof.Dr. D.Lal,Tata Institute of Fundamental Research,Bombay,zur Verfügung gestellt.

Proben sind direkt mit dem Nulleffekt der leeren Trägerfolien vergleichbar.
Leider konnte bis heute kein adäquater Blank zu dieser Messung gefunden werden.Sämtliche Manganoxide verschiedener Herkunft,die geprüft wurden,wiesen über das ganze untersuchte Energiespektrum Zählraten auf,die diejenigen der Mn-Cores um bis zu einem Faktor 10 übertreffen.Die beste Mn-Probe, die wir erhalten konnten,war eine Probe aus einem marinen Mn-Knollen*,deren Resultat im Energiebereich von 1,5-9 keV dasjenige der Mn-Cores um einen Faktor 3 übersteigt.

In Ermangelung eines geeigneten Nulleffekts wurde deshalb untersucht,ob sich die Mn-Emmission extern anregen lässt, und ob eventuell der in beiden Messungen auftretende kleine "Peak" durch Anregung verursacht werden kann,als Folge von Photo-oder Comptonelektronen. Zu diesem Zweck wurde die Mn-Probe während des Zählerbetriebes mit starken niederenergetischen Quellen (^{241}Am, ^{57}Co) bestrahlt. Es konnten so jedoch nur weniger als $2^{o}/oo$ der total aus den Zählern (1) und (2) registrierten Antikoinzidenzen (AK d) als Excess im Energiebereich des Mn registriert werden. Wird dasselbe jedoch mit Quellen höherer Energien (^{22}Na, ^{60}Co, ^{137}Cs) versucht, deren Energien am ehesten den γ-Energien der Abschirmung entsprechen, kann nur weniger als $0,1^{o}/oo$ aller aus den Zählern (1) und (2) total registrierten Antikoinzidenzen (AK d) über dem Nebengrund erzeugt werden. Die externe Anregung fällt deshalb als Ursache der auftretenden "Peaks" aus,wenn man die integralen Antikoinziden (AK d) der Cores-Messungen von 3090 Impulsen für die Probe A und 2575 Impulsen für die Probe C in Betracht zieht.

Als bisher einzige Möglichkeit einer Abschätzung der vorliegenden Aktivität kann für die Probe A ein Vergleich mit dem Nulleffekt der leeren Trägerfolien versucht werden und für

---

*Diese Probe konnten wir durch Vermittlung von Prof.Dr.J.Arnold University of California,La Jolla,erhalten.

beide Proben ein Vergleich mit dem aus den benachbarten Energiebereichen interpolierten Untergrund.Diese Abschätzung führt zu folgendem Ergebnis:

Probe A-Core: $(1,1\pm0,9)\cdot10^{-3}$cpm

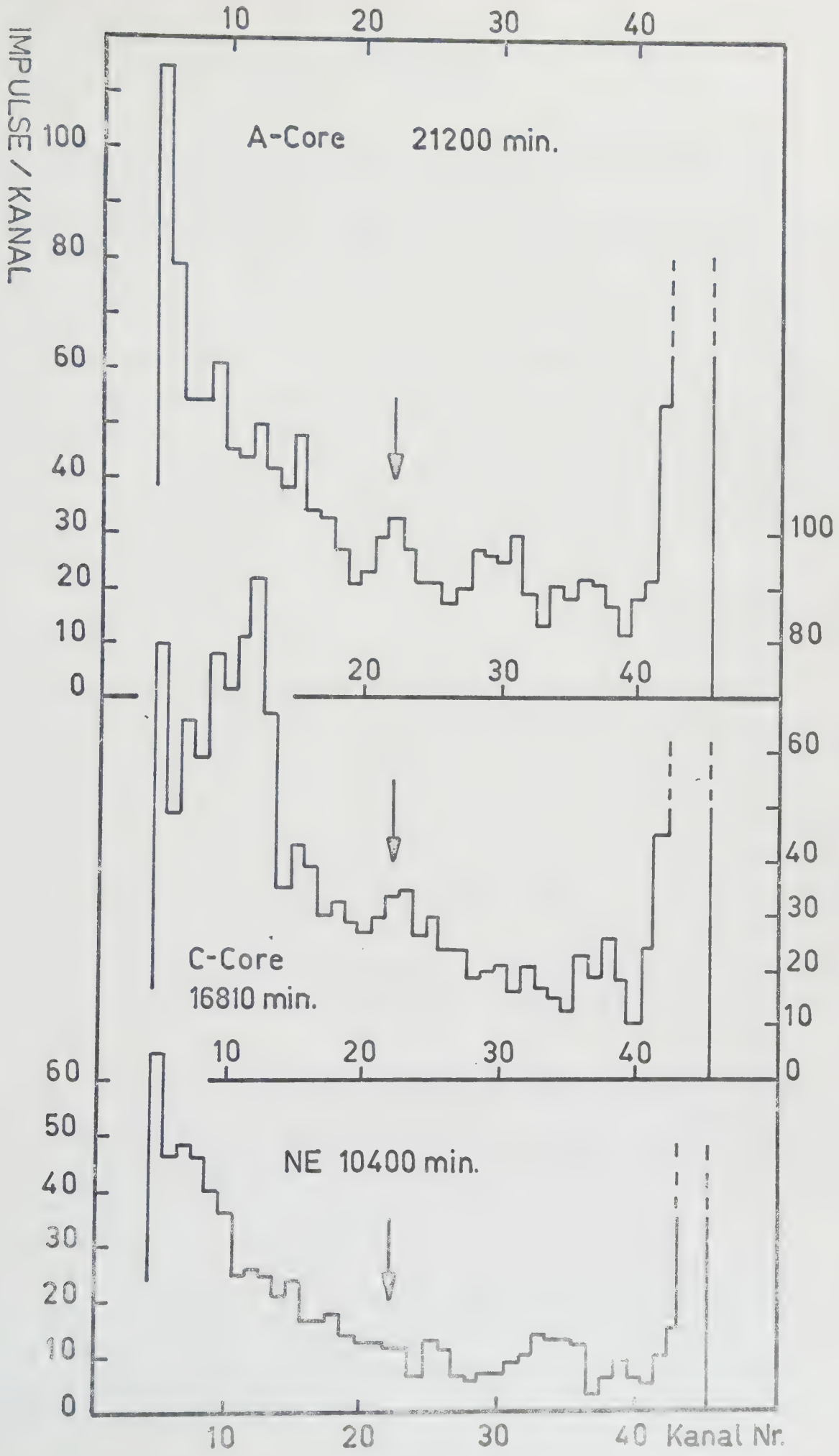
Probe C-Core: $(1,3\pm0,8)\cdot10^{-3}$cpm

Das ergibt mit den Annahmen aus Abschnitt B 3.3. eine Aktivität von$(2,0\pm1,7)$ oder $(2,4\pm1,5)$ dpm/kg Staub beziehungsweise (135 ± 110) oder (162 ± 100) dpm/kg Element, was sich mit den Sättigungsaktivitäten vergleichen lässt,unter Berücksichtigung der berechneten wahrscheinlichsten Aktivierung aber zu hoch liegt. Das würde bedeuten,dass die Einfallsraten höher anzusetzen wären oder aber eine stärkere Aktivierung erfolgt (z.B. Startort $>$ 5 A.U.).So kann eine Uebereinstimmung der gemessenen Daten mit den berechneten innerhalb der Fehlergrenzen erzielt werden.

Es ist aber noch zu früh,um eine Wertung des Problems vorzunehmen.Vorerst müssen noch mehr Messungen durchgeführt werden, insbesondere auch an ^{59}Ni,das vom messtechnischen Standpunkt aus als das günstigste Isotop erscheint,da eine hohe spezifische Aktivität erreicht wird. Leider war es uns bis heute nicht möglich,geeignete Proben zu erhalten.

Werden kleine Einfallsraten als realistisch angesehen,so zeigt es sich,dass ^{53}Mn und ^{59}Ni die einzigen Isotope bleiben,an denen der Nachweis des kosmischen Staubes versucht werden kann, da für alle übrigen Isotope(siehe Abschnitt A 1.) der Beitrag durch Produktion in der Atmosphäre von gleicher Grössenordnung ist ,wie derjenige durch Akkumulation von kosmischem Material.

Abschliessend muss auch festgestellt werden,dass es schwierig ist,die heute gemessenen Einfallsraten (Direktmessungen) an kosmischem Staub mit denjenigen früherer Zeiten direkt zu vergleichen,da wesentliche zeitliche Schwankungen durchaus möglich sind. Die Vermutung höherer Einfallsraten wird auch gestützt durch eine von uns durchgeführte Nachmessung von ^{26}Al aus Tiefseesedimenten in β-γKoinzidenz(Halbleiterdetektor),die eine saubere Abtrennung von Störaktivitäten erlaubte, und die im wesentlichen das von Alder gefundene Resultat(18) bestätigt.



Figur 15: Spektren für A-und C-Core, sowie Nulleffektsspektrum (Der Peak bei 2,9 keV im Spektrum des C-Core ist zurückzuführen auf ^{37}Ar des Zählgases)

11. Ausblick und weitere Anwendungsmöglichkeiten des Zählers

Mit Hilfe dieses Zählers wäre es durchaus möglich, Aktivitäten von K-Einfängern wie ^{7}Be, ^{44}Ti, ^{49}V, ^{51}Cr, ^{53}Mn, ^{54}Mn, ^{55}Fe und ^{59}Ni aus lunarem Material zu messen (Tabelle 5). Da zur Messung der meisten dieser Isotope nur Probenmengen von ca. 1-2 g benötigt würden, wäre es möglich, nach chemischer Abtrennung der Elemente, die unseres Erachtens keine wesentlichen Schwierigkeiten bietet (siehe auch Abschnitt C), die Tiefenabhängigkeit der Aktivitäten zu bestimmen, und zwar mit guter Auflösung. Solche Messungen würden Aussagen erlauben über die Intensität und das Energiespektrum der produzierenden Teilchenflüsse, sowie Schlüsse über deren zeitliches Verhalten.

Material, das direkt von der Oberfläche stammt (einige 10-100μ) wird für die meisten der oben angeführten Isotope durch niederenergetische solare Protonen und α-Teilchen (Solar Energetic Particles: SEP, von grossen "Flares") aktiviert, da diese Teilchen infolge des fehlenden oder geringen magnetischen Dipolmomentes ungestört an die Mondoberfläche gelangen. Beiträge der Aktivierung durch Teilchen des solaren Background sind dagegen vernachlässigbar klein, ebenso Beiträge durch die niederenergetische galaktische Komponente der kosmischen Strahlung in diesen Schichten (Reichweite der SEP), da die zugehörigen Flüsse gegenüber dem zeitlich gemittelten SEP-Fluss als Folge der sporadisch auftretenden "Solar Events" nicht ins Gewicht fallen.

Während die differentiellen Energiespektren der SEP für die beobachteten Ereignisse hinreichend bekannt sind, ist es schwierig, Aussagen zu machen über die gemittelte Gesamtintensität für verschiedene Zeitintervalle (Sonnenzyklen-einige 10^{6}y). Durch die Messung der oben angeführten Isotope würde es möglich, die über ein Zeitintervall von wenigen Halbwertszeiten gemittelten Intensitäten des SEP-Flusses oberhalb der Schwellenenergie der Produktionsreaktionen direkt zu messen, bei Kenntnis der Zusammensetzung der Mondoberfläche und der Wirkungsquerschnitte der Reaktionen, die zu diesen Isotopen führen. Ist die

letzte Bedingung nicht erfüllt,so können mit Hilfe dieses Zählers Wirkungsquerschnitte niederenergetischer Reaktionen geladener Teilchen gemessen werden (siehe Abschnitt C).

^{53}Mn ($+^{54}Mn$) und ^{49}V werden beide in den Oberflächenschichten durch Protonen produziert. Ein Vergleich der Aktivitäten dieser beiden Isotope bietet die Möglichkeit,den zeitlichen Mittelwert der SEP-Protonen-Intensitäten der letzten paar Jahre mit dem der letzten paar 10^6 Jahre zu vergleichen.Eine ähnliche Auskunft würde das Paar ^{51}Cr und ^{59}Ni über die SEP-α-Intensität liefern,da beide Isotope zur Hauptsache durch α-Teilchen produziert werden,währendem der Beitrag der galaktischen Komponente der kosmischen Strahlung zur Aktivierung mit ^{44}Ti,das niederenergetisch kaum erzeugt wird,abgeschätzt werden kann.

Aehnliche Experimente könnten durchgeführt werden mit direkt exponierten Targets (dicke Targets oder "Sandwichs"),die zurückgewonnen werden müssten,und an denen nach chemischer Separation dieselben Untersuchungen durchgeführt werden könnten.Mit einer solchen Methode würden dank günstigeren Targets höhere Aktivitäten erhalten und damit genauere Messungen möglich.

Die Kenntnis der mittleren SEP-Intensität sowie deren zeitliche Schwankungen ist nicht nur bei der Frage des kosmischen Staubes von grossem Interesse,sondern auch bei der Produktion von Radioisotopen in der Atmosphäre(47).Die Schwankungen der Aktivität von Isotopen (z.B. ^{3}H, ^{14}C,Argon-Isotope, ^{32}Si) ist noch ungeklärt; sie können zum Teil mit veränderlicher Produktion begründet werden,wobei der Beitrag zur Produktion durch SEP sehr wichtig ist.

Im folgenden ist versucht worden,die Produktionsraten einiger Radioisotope durch Aktivierung mit SEP auf der Mondoberfläche zu berechnen.Die Berechnung wurde unter folgenden Annahmen durchgeführt:Falls vorhanden,sind gemessene Wirkungsquerschnitte benützt worden,in den übrigen Fällen wurden diese

abgeschätzt. Für den differentiellen SEP-Fluss wurde ein Exponentialgesetz verwendet ($N(R)dR = K_0 e^{-\frac{R}{R_0}} dR$) normiert auf 100 Teilchen/cm^{2}sec oberhalb einer Energie von 10 MeV. Die Zusammensetzung der Mondoberfläche berücksichtigt die neuesten Daten von Apollo 11 (48,49). Nicht berücksichtigt sind Neutronenreaktionen und hochenergetische Reaktionen geladener Teilchen, da für beide der Beitrag zur Aktivität der obersten Schichten sehr viel kleiner ist als die angegebenen Werte. Solare Neutronen sind über einen Faktor 10^3 weniger häufig als solare Protonen und müssen erst thermalisiert werden. Spallationsreaktionen werden für kleine ΔA(z.B.^{53}Mn) erst in einer bestimmten Tiefe (~15 cm (50)) maximal wirksam, da erst dann die Kaskade entwickelt ist und niederenergetische Sekundärteilchen entstehen.

Die angegebenen Werte der Produktionsraten gelten für die Tiefe 0 g/cm^2(unverändertes Spektrum der produzierenden Strahlung). Die Tiefenabhängigkeit ist für die einzelnen Isotope stark verschieden (je nach Produktionsart durch α oder p, verschiedene Bremsung;energetische Lage des Peaks im Wirkungsquerschnitt der Produktionsreaktion). Abschätzungen für das α-induzierte Isotop ^{59}Ni(extrem starke Tiefenabhängigkeit) ergeben in der Tiefe von 1 g/cm^2 noch 0,5% ,in 3 g/cm^2 0,05% der maximalen Oberflächenaktivität.Für das p-induzierte Isotop ^{53}Mn sind die entsprechenden Werte in 1 g/cm^2 12%, 3 g/cm^2 3% und in 10 g/cm^2 0,5%. Einen sehr ähnlichen Verlauf zeigt die ebenfalls p-induzierte ^{55}Fe-Aktivität.

Tabelle 5

Produktionsraten für K-Einfänger an der Mondoberfläche

Isotop	Zerfall	Halbwerts-Zeit	Produktions-reaktionen	Targethäufigkeit Element	Isotop	Wirkungs-querschnitt	Produktionsraten (dpm/kg) R_o=50	100	150 MV
^{7}Be	EC + γ	53 d	Durch Spallation an leichten Kernen oder als Spallationsfragment						
^{44}Ti	EC, kein γ	20 y	Spallation $^{45}Sc(p,2n)^{44}Ti$						< 10
^{49}V	EC, kein γ	330 d	$^{49}Ti(p,n)\ ^{49}V$	0,06	0,055	geschätzt			100
			$^{46}Ti(\alpha,pn)^{49}V$	0,06	0,073	geschätzt			< 5
			$^{50}Ti(p,2n)^{49}V$	0,06	0,053	geschätzt			< 10
			$^{46}Ti(\alpha,n)\ ^{49}Cr \downarrow\ ^{49}V$	0,06	0,079	geschätzt			< 3

Tabelle 5: Fortsetzung

Isotop	Zerfall	Halbwerts-zeit	Produktions-reaktionen	Targethäufigkeit Element	Isotop	Wirkungs-querschnitt	Produktionsraten (dpm/kg) R_o=50	100	150 MV
^{51}Cr	EC + γ	27 d	$^{48}Ti(\alpha,n)\ ^{51}Cr$	0,06	0,74	geschätzt	52,7	33,4	24,3
			$^{51}V\ (p,n)\ ^{51}Cr$	$3,6\cdot10^{-5}$	0,99	(51,52)	2,9	1,1	0,7
			$^{52}Cr(p,2n)\ ^{51}Mn \downarrow\ ^{51}Cr$	0,0035	0,84	geschätzt		< 2	
^{53}Mn	EC, kein γ	$2\cdot10^{6}$ y	$^{56}Fe(p,\alpha)\ ^{53}Mn$	0,14	0,916		205,3	183,5	149,5
			$^{54}Fe(p,2p)\ ^{53}Mn$	0,14	0,058				
			$^{54}Fe(p,2n)\ ^{53}Co \rightarrow\ ^{53}Fe \rightarrow\ ^{53}Mn$	0,14	0,058		129,9	142,7	125,8
			$^{54}Fe(p,pn)\ ^{53}Fe \downarrow\ ^{53}Mn$	0,14	0,058	siehe Abschnitt B			
			$^{53}Cr(p,n)\ ^{53}Mn$	0,0035	0,095		24,5	9,5	5,8
			$^{54}Fe(\alpha,\alpha n)\ ^{53}Fe \downarrow\ ^{53}Mn$	0,14	0,058		0,4	0,6	0,6
^{54}Mn	EC + γ	300 d	$^{55}Mn(p,pn)\ ^{54}Mn$	0,0027	1	(53)		5	
			$^{55}Mn(\alpha,\alpha n)\ ^{54}Mn$	0,0027	1	(54)		< 0,1	

Tabelle 5: Fortsetzung

Isotop	Zerfall	Halbwertszeit	Produktionsreaktionen	Targethäufigkeit Element	Targethäufigkeit Isotop	Wirkungsquerschnitt	Produktionsraten (dpm/kg) R_o=50	100	150 MV
^{55}Fe	EC, kein γ	2,6 y	$^{56}Fe(p,pn)^{55}Fe$	0,14	0,916	geschätzt		650	
			$^{55}Mn(p,n)^{55}Fe$	0,0027	1	(51)	193,0	70,4	42,4
			$^{52}Cr(\alpha,n)^{55}Fe$	0,0035	0,84	geschätzt		5	
^{57}Co	EC+β+γ	270 d	$^{57}Fe(p,n)^{57}Co$	0,14	0,022	(51)	122,4	52,9	33,4
			$^{58}Fe(p,2n)^{57}Co$	0,14	0,003	geschätzt		1	
			$^{54}Fe(\alpha,p)^{57}Co$	0,14	0,058	(55,96)	13,5	10,1	8,5
			$^{54}Fe(\alpha,n)^{57}Ni$						
			^{57}Co	0,14	0,058	(57,96)	4,8	3,4	2,6
			$^{55}Mn(\alpha,2n)^{57}Co$	0,0027	1	(54)	4,0	3,9	3,3
^{59}Ni	EC, kein γ	$7,5 \cdot 10^4$ y	$^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$	0,14	0,916		307	206	151
			$^{59}Co(p,n)^{59}Ni$	$1,5 \cdot 10^{-5}$	1		0,7	0,3	0,2
			$^{60}Ni(p,pn)^{59}Ni$	0,00017	0,262	siehe Abschnitt C			
			$^{60}Ni(p,2n)^{59}Cu$				0,4	0,5	0,4
			^{59}Ni	0,00017	0,262				

B AKTIVIERUNG VON KOSMISCHEM STAUB DURCH DIE KOSMISCHE STRAHLUNG

1. Einleitung:

Es wurde versucht, die Aktivierung von kosmischem Staub für die Isotope ^{53}Mn und ^{59}Ni unter Berücksichtigung neuerer Daten zu berechnen. Viele Parameter, die in eine derartige Abschätzung eingehen, sind leider bis heute noch wenig oder ungenau bekannt. Es wird jedoch versucht, auf viele mögliche Fälle einzutreten und Einflüsse durch Variation von Parametern werden diskutiert, so dass bei Bekanntwerden von genaueren Werten die fraglichen Aktivitäten leicht gefunden werden können.

Für die Aktivierung von kosmischem Staub sind im wesentlichen niederenergetische Reaktionen mit Protonen und α-Teilchen verantwortlich. Es zeigt sich, dass dazu vor allem Protonen und α-Teilchen solaren Ursprungs als Folge von grossen "Solar Flares" (Solar Energetic Particles: SEP) beitragen, denen gegenüber niederenergetische Teilchen der galaktischen kosmischen Strahlung, sowie der ständig vorhandene solare Background vernachlässigt werden können. Der Einfluss der hochenergetischen Komponente der kosmischen Strahlung ist unwesentlich, da es wegen der Kleinheit der Staubteilchen gar nicht zur Entwicklung der Kaskade kommt.

Mit Hilfe von geschätzten und nur zum kleinsten Teil bekannten Wirkungsquerschnitten für die möglichen Produktionsreaktionen hauptsächlich an Co, Fe und Ni kann vorerst bei Kenntnis der Zusammensetzung des Targetmaterials (Annahme: chondritisch) und dem zeitlich gemittelten differentielle SEP-Fluss im Abstand von 1 A.U. von der Sonne eine Produktionsrate für die angegebenen Isotope berechnet werden.

Ein kosmisches Staubteilchen wird vom Orte seiner Entstehung unter dem Einfluss der Gravitationskraft,des Pointing-Robertson-Drag und dem Sonnenwind auf einer Spirale gegen die Sonne laufen (56,1,57,58).Seine Bahn,und damit die Zeit,die es benötigt,um vom Startort (X A.U.) auf 1 A.U. (Erdbahn) zu gelangen,hängt ab von Startort, Grösse und Dichte der Teilchen,sowie Abnahme der Sonnenwinddichte mit dem Sonnenabstand. Da der Fluss der aktivierenden Teilchen ebenfalls ortsabhängig ist,wird die resultierende Aktivierung ebenfalls orts-oder zeitabhängig sein.
In einem zweiten Schritt wird deshalb versucht,den Faktor zu bestimmen,der die Abweichung von der Sättigungsaktivität (Produktionsrate) angibt,und zwar für folgende Parameter: Startort X A.U., Produkt ($r \cdot \varrho$) aus r=Teilchenradius und ϱ=Teilchendichte,sowie Ortsabhängigkeit von SEP-Fluss und Sonnenwinddichte.

Berücksichtigt man anschliessend noch die Massenverteilung der auf die Erde einfallenden Teilchen,ihre Wechselwirkung mit der Atmosphäre beim Eintritt,sowie Werte für die Einflussrate auf die Erde,so ist es möglich,die spezifischen Aktivitäten von kosmischem Staub abzuschätzen.

2.Produktionsraten

2.1.Produktionsmechanismen

Die Produktion von ^{53}Mn und ^{59}Ni in kosmischem Staub erfolgt hauptsächlich durch niederenergetische Protonen und α-Teilchen.Wichtig sind dabei die SEP bei starker Sonnenaktivität; die niederenergetische Komponente der kosmischen Strahlung und der Beitrag an solaren Partikeln während ruhigen Sonnenperioden sind dagegen vernachlässigbar(59,60). Wegen der Kleinheit der Staubteilchen (10^{-6} bis einige 10^{-4}m) tragen Hochenergie-Reaktionen zur Produktion wenig bei.Die Grösse der Staubteilchen erlaubt es andererseits,von Energieverlusten der produzierenden geladenen Teilchen durch Ionisation abzusehen. Auch werden die Staubteilchen einigermassen

homogen aktiviert,so dass bei der folgenden Ablation in der Erdatmosphäre keine Fraktionierung auftritt.

Zur Berechnung der Produktionsraten ist es nötig, die differentiellen Spektren der erzeugenden Teilchen-Flüsse , sowie ihre zeitlich gemittelten Intensitäten zu kennen.Die differentiellen SEP-Flüsse lassen sich durch folgende Ausdrücke annähern,die allgemein die gemessenen Spektren gut wiedergeben (61,62,63):

a) Potenzgesetz in der kinetischen Energie:

$$N(E)\,dE = S_0\, E^{-\gamma}\, dE$$

Diesen Verlauf zeigen die Spektren vor allem bei Energien unterhalb von ca. 10-15 MeV (86). Der Exponent γ kann Werte annehmen von 2 bis ca.6 und ist im allgemeinen für Protonen höher als für α-Teilchen.

b) Exponentialgesetz in Rigidity:

$$N(R)\,dR = K_0\, e^{-R/R_0}\, dR$$

Für viele der gemessenen Spektren lässt sich mit diesem Gesetz ein grösserer Energiebereich beschreiben. R_0 variiert in beobachteten "events" und kann Werte von 50 bis 150 MV annehmen(61,5) und ist zudem für Protonen und α-Teilchen verschieden. Allgemein akzeptierte Werte für R_0,die aus dem Integralspektrum aller beobachteten "events" einer gewissen Zeit gewonnen werden, reichen von 50-150 MV für Protonen und 100-150 MV für α-Teilchen.

Für die Berechnung der Produktionsraten wurden beide Näherungen verwendet unter Normierung der Flüsse auf 100 Teilchen/cm^2sec oberhalb der Energie von 10 MeV (63,5). Für das Verhältnis von α-Teilchen zu Protonen wurde ein konstanter Wert von 1/11 (64) angenommen.

2.2. Reaktionen und Wirkungsquerschnitte

Die Zusammensetzung des kosmischen Staubes wird als chondritisch angenommen. Die möglichen Produktionsreaktionen sind in Tabelle 6 zusammengestellt.

Tabelle 6

Produktionsreaktionen

Reaktion	Targetenhäufigkeit Element	Isotop	Schwellenenergie Q-Wert (85)MeV
$^{56}Fe(p,\alpha)\ ^{53}Mn$	0,25	0,916	1,08
$^{54}Fe(p,2p)^{53}Mn$	0,25	0,058	9,0
$^{54}Fe(p,pn)^{53}Fe \rightarrow {}^{53}Mn$	0,25	0,058	13,9
$^{54}Fe(p,2n)^{53}Co \rightarrow {}^{53}Fe \rightarrow {}^{53}Mn$	0,25	0,058	21,0
$^{54}Fe(p,d)\ ^{53}Fe \rightarrow {}^{53}Mn$	0,25	0,058	11,2
$^{53}Cr(p,n)\ ^{53}Mn$	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,095	1,38
$^{54}Fe(\alpha,\alpha n)^{53}Mn$	0,25	0,058	13,6
$^{59}Co(p,2p5n)^{53}Mn$ *	$5 \cdot 10^{-4}$	1	35
$^{56}Fe(\alpha,n)\ ^{59}Ni$	0,25	0,916	5,45
$^{59}Co(p,n)\ ^{59}Ni$	$5 \cdot 10^{-4}$	1	1,88
$^{60}Ni(p,pn)^{59}Ni$	0,014	0,262	11,6
$^{60}Ni(p,2n)^{59}Cu \rightarrow {}^{59}Ni$	0,014	0,262	12,3
$^{60}Ni(p,d)\ ^{59}Ni$	0,014	0,262	9,3

* Diese Reaktion wird nur als Beispiel einer höherenergetischen Reaktion angeführt.

Da die meisten Wirkungsquerschnitte der Produktionsreaktionen nicht gemessen sind, wurden diese mit Vergleichen

ähnlicher Reaktionen gleichartiger Kerne,ähnlicher Schwellenenergie(und Coulombenergie für geladene Teilchen) und unter Berücksichtigung der Konkurrenzreaktionen abgeschätzt.

$^{56}Fe(p,\alpha)^{53}Mn$: Für diesen Wirkungsquerschnitt existieren zwei gemessene Werte bei 9,8 und 17,5 MeV (65,66).Im weiteren liegt eine Messung an natürlichem Fe für 90^{o}vor,die einen Vergleich erlaubt (67). Zusätzlich ist ein Vergleich möglich mit den Paaren $^{58}Ni(p,\alpha)^{55}Co$, $^{58}Ni(p,n)^{58}Cu$ und $^{56}Fe(p,\alpha)^{53}Mn$, $^{56}Fe(p,n)^{56}Co$. Daraus erhalten wir ein maximales σ von 80 mb bei einer Energie von 21 MeV und einer Halbwertsbreite von 8 MeV.

p-Reaktionen an ^{54}Fe und ^{60}Ni: Da hier gemessene Reaktionsquerschnitte (σ_{total},68-71) nicht nur für Fe und Ni ,sondern auch für verschiedene Isotope (vereinzelte Energiewerte) vorhanden sind, ist es möglich,die Querschnitte für die Mehrfach-Reaktionen mit guter Präzision abzuschätzen. Ausserdem existieren verschiedene Messungen von Mehrfach-Reaktionen in diesem Massenbereich (52,71,72,73). Dazu lassen sich mit Hilfe weniger gemessener Daten und unter Berücksichtigung von Arbeiten über die Systematik von (p,n)-Reaktionen die zugehörigen (p,n)-Querschnitte an ^{54}Fe und ^{60}Ni eruieren (71,74-78,80,81).Als wahrscheinlichste Maximalwerte nehmen wir für die Reaktionen am ^{54}Fe 750 mb bei 23 MeV mit einer Halbwertsbreite von ca. 18 MeV an, und 500 mb bei 24 MeV mit einer Halbwertsbreite von ca.18 MeV für die Reaktionen am ^{60}Ni.

$^{53}Cr(p,n)^{53}Mn$ und $^{59}Co(p,n)^{59}Ni$: Diese Querschnitte sind bis zu Energien knapp über dem Maximum gemessen,nur der Verlauf bei etwas höheren Energien muss aus Vergleichen beschafft werden (74,75).Die Werte betragen für ^{59}Co: 500 mb bei 10 MeV, für ^{53}Cr: 400 mb bei 8 MeV.

$^{54}Fe(\alpha,\alpha n)^{53}Mn$: Der Querschnitt dieser Reaktion ist bekannt (55 mb bei 40 MeV,(82)).

$^{56}Fe\ (\alpha,n)\ ^{59}Ni$: Siehe Abschnitt C.

$^{59}Co\ (p,2p5n)\ ^{53}Mn$: Diese Reaktion, deren Querschnitt gemessen ist (83), wird nur als Beispiel einer höherenergetischen Reaktion aufgeführt. (Weitere Angaben über Reaktionen höherer Energien, die zu ^{53}Mn führen: (84,50)).

2.3. Berechnung der Produktionsraten

Die Produktionsraten wurden mit Hilfe des Computers berechnet *. Beide Formen der differentiellen SEP-Flüsse wurden versucht:

a)
$$P(\gamma) = C_o \cdot \frac{C \cdot n}{\bar{A}} \int_{E_{th}}^{120\,MeV} \sigma(E) \cdot S_o \cdot E^{-\gamma} \cdot dE$$

P = Produktionsrate (dpm/kg Staub)

C_o = Zahl von Avogadro x Umrechnungsfaktor für Einheiten

C = Häufigkeit des Targetisotops

n = Häufigkeit des Targetelements

$\bar{A}$ = chondritische Molmasse

$\sigma(E)$ = differentieller Wirkungsquerschnitt

S_o Konstante, normiert für alle Werte von γ, so dass gilt: $\int_{10MeV}^{\infty} S_o E^{-\gamma} dE$ = 100 Teilchen/cm^{2}sec (für 4π)

E_{th} = Energie, bei der die Reaktion einsetzt

b)
$$P(R_o) = C_o \cdot \frac{C \cdot n}{\bar{A}} \int_{R(E=E_{th})}^{R(E=120\,MeV)} \sigma(R) \cdot K_o \cdot e^{-\frac{R}{R_o}} \cdot dR$$

R = Rigidity

K_o Konstante, normiert für alle Werte von R_o, so dass gilt: $\int_{R(E=10MeV)}^{\infty} K_o \cdot \exp(-\frac{R}{R_o}) \cdot dR$ = 100 Teil./cm^{2}sec (für 4π)

---

* Für das Erstellen der Programme möchte ich Herrn I.Houtermans bestens danken.

Im Falle a) wurde γ variiert von 2 bis 5, im Falle b) R_o von 50 MV bis 150 MV. Eine Energieabhängigkeit dieser Parameter wurde nicht berücksichtigt.In beiden Fällen wurden die Flüsse normiert auf 100 Teilchen/cm^2sec.
Die Integration wurde mit der Simpson-Regel durchgeführt,und zwar für den Energiebereich ab Schwellenenergie bis nach dem Maximum des Wirkungsquerschnittes ($\sim$ Halbwertsbreite) in Schritten von 1,5-3 MeV und oberhalb dieser Energie bis zu 120 MeV in Schritten von 10 MeV. Als Resultat werden die Produktionsraten für ^{53}Mn und ^{59}Ni durch diese Reaktionen im Energieintervall zwischen dem Einsetzten jeder Reaktion und 120 MeV erhalten,sowie auch für beliebige Energieintervalle dazwischen. So kann auch untersucht werden,in welchem Energiebereich die Hauptproduktion stattfindet.
Die Produktionsraten sind in den Tabellen 7 und 7a angegeben.

Ni-Produktion: Der grösste Beitrag ist auf die Reaktion ^{56}Fe (α,n) zurückzuführen. Unter der Annahme,dass für die ^{59}Co (p,n)-Reaktion (Hauptproduktion bei E $<$12 MeV) eher ein Flussverlauf unter a) angenommen werden darf,für die beiden anderen Reaktionen wegen der Lage der Maximalquerschnitte bei höheren Energien ein Exponentialgesetz besser zutrifft, erhalten wir für die Produktion von ^{59}Ni einen Wert zwischen 370-460 dpm/kg Staub.

Mn-Produktion: Als wahrscheinlichsten Wert für die Produktionsrate von ^{53}Mn erhalten wir unter Annahmen wie oben 590-680 dpm/kg Staub.

Tabelle 7

Produktionsraten (in dpm/kg Staub) für ^{53}Mn und ^{59}Ni

a) Diff.SEP-Fluss : $N(E)dE = S_o \cdot E^{-\gamma} dE$

Integraler Fluss(E>10 MeV)= 100 Teilchen /cm^2sec(für 4π)

	Reaktionen		
γ	$^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$	$^{59}Co(p,n)^{59}Ni$	$^{60}Ni(p,pn)^{59}Ni$ (p,2n) (p,d)
2	340	18,8	26,3
2,5	460	35,9	26,4
3	505	57,8	21,5
3,5	563	96,7	17,8
4	596	157,7	14,0
4,5	569	237,2	9,9
5	662	441,0	8,9

	$^{56}Fe(p,\alpha)^{53}Mn$	$^{54}Fe(p,2p)$ (p,2n) (p,pn) (p,d)	$^{54}Fe(\alpha,\alpha n)$	$^{53}Cr(p,n)$	$^{59}Co(p,2p5n)$
2,	294,1	225,5	0,8	21,5	0,013
2,5	335,3	218,5	0,7	46,5	0,008
3	311,8	190,0	0,5	83,5	0,004
3,5	292,7	163,4	0,3	156,7	
4	260,6	133,9	0,2	284,2	
4,5	209,1	98,9	0,2	471,4	
5	204,1	88,9	0,1	966,5	

Tabelle 7a: Fortsetzung

Produktionsraten (in dpm/kg Staub) für ^{53}Mn und ^{59}Ni

b) Diff.SEP-Fluss: $N(R)dR = K_o \cdot \exp(-\frac{R}{R_o}) \cdot dR$

Integraler Fluss(R(E>10 MeV)) = 100 Teilchen / cm^2 sec (für 4π)

R_o (MV)	$^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$	$^{59}Co(p,n)^{59}Ni$	$^{60}Ni(p,pn)^{59}Ni$ (p,2n) (p,d)
50	548	23,9	28,8
100	369	10,6	33,4
150	271	6,9	29,6

	$^{56}Fe(p,\alpha)^{53}Mn$	^{54}Fe(p,2p) (p,pn) (p,2n) (p,d)	$^{53}Cr(p,n)$	$^{54}Fe(\alpha,\alpha n)$	$^{59}Co(p,2p5n)$
50	367,8	232,9	24,5	0,6	0,001
100	328,9	255,7	9,5	1,0	0,002
150	267,9	225,4	5,8	1,0	0,002

3. Aktivierung von kosmischem Staub

3.1. Variabeln und Parameter

Im folgenden soll die Aktivität für ^{53}Mn und ^{59}Ni von kosmischem staubförmigen Material, das die Erde erreicht; berechnet werden. Dazu wird ein Nicht-Sättigungsfaktor bestimmt und mit den Produktionsraten (B 2.3.) verglichen.
Die Aktivierung von Staubteilchen im interplanetaren Raum hängt im wesentlichen von folgenden Grössen ab:

a) Bestrahlungsdauer im Raum: Zeit, die ein Teilchen benötigt, um von seiner Startposition (einige A.U.) unter dem Einfluss verschiedener Kräfte (Gravitation, Pointing-Robertson-Drag, Einfluss des Sonnenwindes) auf die Entfernung von 1 A.U. hineinzuspiralen (1,56,58). Angenommen werden Kreisbahnen; die Korrekturen für elliptische Bahnen sind nicht wesentlich (57).
Die Bestrahlungsdauer ist abhängig von der Grösse und Dichte der Teilchen, sowie von der lokalen Sonnenwinddichte. Je nach Beschaffenheit der Teilchen können stark unterschiedliche Bestrahlungszeiten und damit stark voneinander abweichende Aktivitäten erhalten werden.

b) Differentielle SEP-Flüsse, sowie deren zeitlich gemittelte Intensitäten. Die resultierende Aktivierung hängt stark davon ab, wie die SEP-Flüsse mit dem Sonnenabstand abnehmen.

3.2. Bahnmechanik der Staubteilchen und zeit-oder ortsabhängige Aktivierung

Die Bahngleichungen für Staubteilchen genügender Grösse, für die die Gravitationskraft die Kräfte infolge Strahlungsdruck und infolge des Druckes der Korpuskularstrahlung (Sonnenwind) überwiegt (d.h. sie werden nicht von der Sonne "weggeblasen"), können berechnet werden. Da die Radialkomponente der Geschwindigkeit klein ist , kann für die Kräfte angenähert

folgende Beziehung geschrieben werden:

$$-F_{Gr} + F_{ES} + F_{SW} + m\frac{V^2}{R} = 0.$$

Darin bedeuten:

F_{Gr} = Gravitationskraft $= \gamma\frac{m \cdot M}{R^2}$, γ = Gravitationskonstante
m = Masse des Staubteilchens
M = Sonnenmasse
R = Sonnenabstand

F_{ES} = Kraft infolge elmagn.Strahlung $= \frac{E_o \cdot R_e^2}{c_L \cdot R^2}\pi r^2$, E_o = Solarkonstante
R_e = Abstand Erde-Sonne
c_L = Lichtgeschwindigkeit
r = Radius des Staubteilchens

F_{SW} = Kraft infolge Sonnenwind $= \overline{\rho}_{SW} \cdot \overline{m}_{SW} \cdot \overline{V}_{SW}^2 \cdot r^2 \cdot \pi$, $\overline{\rho}_{SW}$ = mittl.Dichte der Sonnenwindteilchen($5 \cdot 10^6$ m^{-3} bei 1A.U.)
$\overline{m}_{SW}$ = mittl.Ionenmasse des Sonnenwindes ($2{,}4 \cdot 10^{-27}$kg)
$\sqrt{\overline{V}_{SW}^2}$ = mittl.Geschwindigkeit der Sonnenwindteilchen($5 \cdot 10^5$m/sec)

V = Bahngeschwindigkeit der Staubteilchen $= \left[\frac{M}{R}\left(\gamma - \frac{F_{ES}R^2}{m \cdot M}\right)\right]^{1/2} = \left[\frac{M}{R}\left(\gamma - \frac{E_\odot r^2}{4 c_L m M}\right)\right]^{1/2}$

$$= \left[\frac{M}{R}\left(\gamma - \frac{3 E_\odot}{16\pi c_L}\left(\frac{1}{r\rho}\right)\right)\right]^{1/2}$$

$E_\odot = 4\pi R_e^2 \cdot E_o$

ρ = Dichte der Staubteilchen $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

Das Schrumpfen der Bahn wird bestimmt durch die Aenderung des Drehimpulses der Staubteilchen infolge Einwirkung von F_{Gr}, F_{ES} und F_{SW}. Die Radialkomponente der Geschwindigkeit des Staubteilchen infolge F_{ES} ist (57) :

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)_1 = -\frac{a}{R} \qquad \text{mit} \quad a = \frac{1}{R_e^2}\left(\frac{3E_\odot}{8\pi c_L^2}\right)\left(\frac{1}{r\rho}\right)$$

und diejenige infolge F_{sw} (58):

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)_2 = \frac{2R^{1/2}}{m\left[\frac{M}{R}\left(\gamma - \frac{3E_\odot}{16\pi c_L M r\rho}\right)\right]^{1/2}} \cdot \frac{dP}{dt} \quad , \qquad \frac{dP}{dt} = \text{Aenderung des Drehimpulses des Staubteilchens}$$

Da $\frac{dP}{dt} = -\frac{dP_{sw}}{dt}$, $\frac{dP_{sw}}{dt}$ = Aenderung des Drehimpulses des Sonnenwind ,

wird:

$$\left(\frac{dR}{dt}\right)_2 = \frac{2\pi \bar{m}_{sw} \cdot r^2}{m} \bar{\rho}_{sw_o}\left(\frac{R_e}{R}\right)^I \left[\bar{v}_{sw}^2 + V^2\right]^{1/2} R$$

$$= \frac{2\pi \bar{m}_{sw} \cdot r^2}{m} \bar{\rho}_{sw_o}\left(\frac{R_e}{R}\right)^I \left[\bar{v}_{sw}^2 + \frac{M}{R}\left(\gamma - \frac{3E_\odot}{16\pi c_L M r\rho}\right)\right]^{1/2} R \quad ,$$

wobei für die Sonnenwinddichte allgemein eine R-Abhängigkeit von

$$\rho_{sw} = \rho_{sw_o}\left(\frac{R_e}{R}\right)^I \quad \text{eingesetzt wird.}$$

Mit Abkürzungen für die einzelnen Ausdrücke kann die resultierende Radialkomponente der Geschwindigkeit der Staubteilchen (für R in A.U.) geschrieben werden als:

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{a}{R} - \frac{b}{R^{I-1}}\left(1 + \frac{c}{R}\right)^{1/2}$$

wobei:

$$a = \frac{1}{R_e^2}\left(\frac{3E_\odot}{8\pi c_L^2}\right)\left(\frac{1}{r\rho}\right)$$

$$b = \frac{1}{R_e^I}\frac{3}{2}\bar{m}_{sw}\,\bar{v}_{sw}\,\rho_{sw_o}\left(\frac{1}{r\rho}\right)$$

$$c = \frac{M\gamma}{R_e\,\bar{v}_{sw}^2}\left[1 - \frac{3E_\odot}{16\pi c_L M\gamma}\left(\frac{1}{r\rho}\right)\right] .$$

Da $c \ll 1$ und $R \gg 1$ lässt sich die Integration für die Fälle $I = 2$, $3/2$ und 1 durchführen. Die entsprechenden Bestrahlungsdauern sind:

1) $I = 2$

$$T_1 = \alpha (R^2 - R_e^2) - \gamma (R - R_e) ;$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{1}{a+b} \quad ; \quad \gamma = \frac{1}{2} \frac{bc}{(a+b)^2}$$

2) $I = 3/2$

$$T_2 = \beta (R^{3/2} - R_e^{3/2}) - \gamma (R - R_e) + \delta (R^{1/2} - R_e^{1/2})$$
$$- \varepsilon \left[\frac{1}{1 + \varphi R_e^{1/2}} - \frac{1}{1 + \varphi R^{1/2}} \right] - \mu \ln \left(\frac{1 + \varphi R^{1/2}}{1 + \varphi R_e^{1/2}} \right) ;$$

$$\beta = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{b} \quad ; \quad \gamma = \frac{a}{b^2} \quad ; \quad \delta = \frac{1}{b} \left(2 \frac{a^2}{b^2} - c \right) ;$$

$$\varepsilon = \frac{1}{b} \left(\frac{a}{b} \right) \cdot c \quad ; \quad \mu = 2 \frac{1}{b} \cdot \frac{a}{b} \left(\frac{a^2}{b^2} - c \right) ; \quad \varphi = \frac{b}{a}$$

3) $I = 1$

$$T_3 = \gamma (R - R_e) - \mu \ln \frac{1 + \varphi R}{1 + \varphi R_e}$$

$$\gamma = \frac{1}{b} \quad ; \quad \mu = \frac{1}{b} \left(\frac{a}{b} + \frac{c}{2} \right) ; \quad \varphi = \frac{b}{a + \frac{bc}{2}} = \frac{1}{b\mu}$$

Im weiteren wird die Aenderung der differentiellen SEP-Flüsse mit dem Sonnenabstand wie folgt berücksichtigt:

$$N(E, R)\, dE = S_0 \left(\frac{R_e}{R} \right)^K E^{-\gamma} dE$$

und $$N(R, R')\,dR' = K_0 \left(\frac{R_e}{R}\right)^K e^{-\frac{R'}{R_0'}}\, dR' \quad ; \; R' = \text{Rigidity}.$$

Der Exponent K kann von 0 bis 2 variiert werden.
Für die Aktivität von ^{53}Mn oder ^{59}Ni erhält man nun:

$$A_{ij}(T_j) = P_i\left(\begin{smallmatrix}\gamma \text{ oder}\\ R_0'\end{smallmatrix}\right) \lambda_i \int_0^{T_j} R(t)^{-K}\; e^{\lambda_i (t-T_j)}\, dt$$

oder nach der Variabelntransformation:

$$A_{ij}(R) = P_i\left(\begin{smallmatrix}\gamma \text{ oder}\\ R_0'\end{smallmatrix}\right) \lambda_i \int_{R_e = 1\,A.U.}^{R(A.U.)} R^{-K}\; F_j(R, r\varrho)\; e^{\lambda_i \left[J_j(r\varrho) - H(R, r\varrho)\right]}\, dR$$

Darin bedeuten:

A_{ij} Aktivität in dpm/kg Staub
Index j : $I = 2,\ 3/2,\ 1$, Exponent in: $\bar{\varrho}_{sw} = \bar{\varrho}_{sw0}\left(\frac{R_e}{R}\right)^I$

Index i : ^{53}Mn oder ^{59}Ni

$P(\gamma), P(R_0')$ Produktionsraten für die angenommenen Flüsse in 1A.U.
(Abschnitt B 2.3.)

λ_i Zerfallskonstante für ^{53}Mn und ^{59}Ni
R Startort der Teilchen in A.U.
R' Rigidity
K Exponent in : $\phi(R) = \phi(R = 1A.U.)\left(\frac{R_e}{R}\right)^K$, worin ϕ = diff. SEP-Fluss

$$J_1(r\varrho) = \alpha - \gamma$$

$$J_2(r\varrho) = \beta - \gamma + \delta + \frac{\varepsilon}{1+\varphi} - \mu \ln(1+\varphi)$$

$$J_3(r\varrho) = \gamma - \mu \ln(1+\varphi)$$

$$F_1 = 2\alpha R - \gamma$$

$$F_2 = 3/2\,\beta R^{1/2} - \gamma + \frac{\delta}{2} R^{1/2} - \frac{\varepsilon\varphi}{2} \frac{R^{1/2}}{1+\varphi R^{1/2}} - \frac{\mu\varphi}{2} \cdot \frac{R^{1/2}}{1+\varphi R^{1/2}}$$

$$F_3 = \gamma - \frac{\mu\varphi}{1+\varphi R}$$

$$H_1 = R(\alpha R - \gamma)$$

$$H_2 = \beta R^{3/2} - \gamma R + \delta R^{1/2} + \frac{\varepsilon}{1+\varphi R^{1/2}} - \mu \ln(1+\varphi R^{1/2})$$

$$H_3 = \gamma R - \mu \ln(1+\varphi R)$$

Die Integration wurde mit dem Computer durchgeführt *.
Der Integrand wurde in Intervallen von 0,1 A.U. -0,5 A.U. berechnet und die Funktion für den Sättigungsfaktor mit Hilfe der Simpson-Regel integriert.
Folgende Parameter können variiert werden:

- $(r \cdot \rho)$ Teilchenradius x Dichte der Staubteilchen
- R Startort , bis 10 A.U.
- I = 2 , 3/2 , 1
- K alle Werte zwischen 0 und 2 .

Die Sättigungsfaktoren für einige der obigen Parameter sind im Anhang tabelliert.

3.3. Diskussion der Resultate

Die Berechnung der Aktivierung ist sehr allgemein durchgeführt worden, so dass bei Bekanntwerden von unsicheren Parametern die zugehörigen Aktivierungen leicht gefunden werden

---

*Für die Hilfe bei der mathematischen Behandlung des Problems und für das Erstellen der Programme möchte ich Herrn J.Houtermans bestens danken.

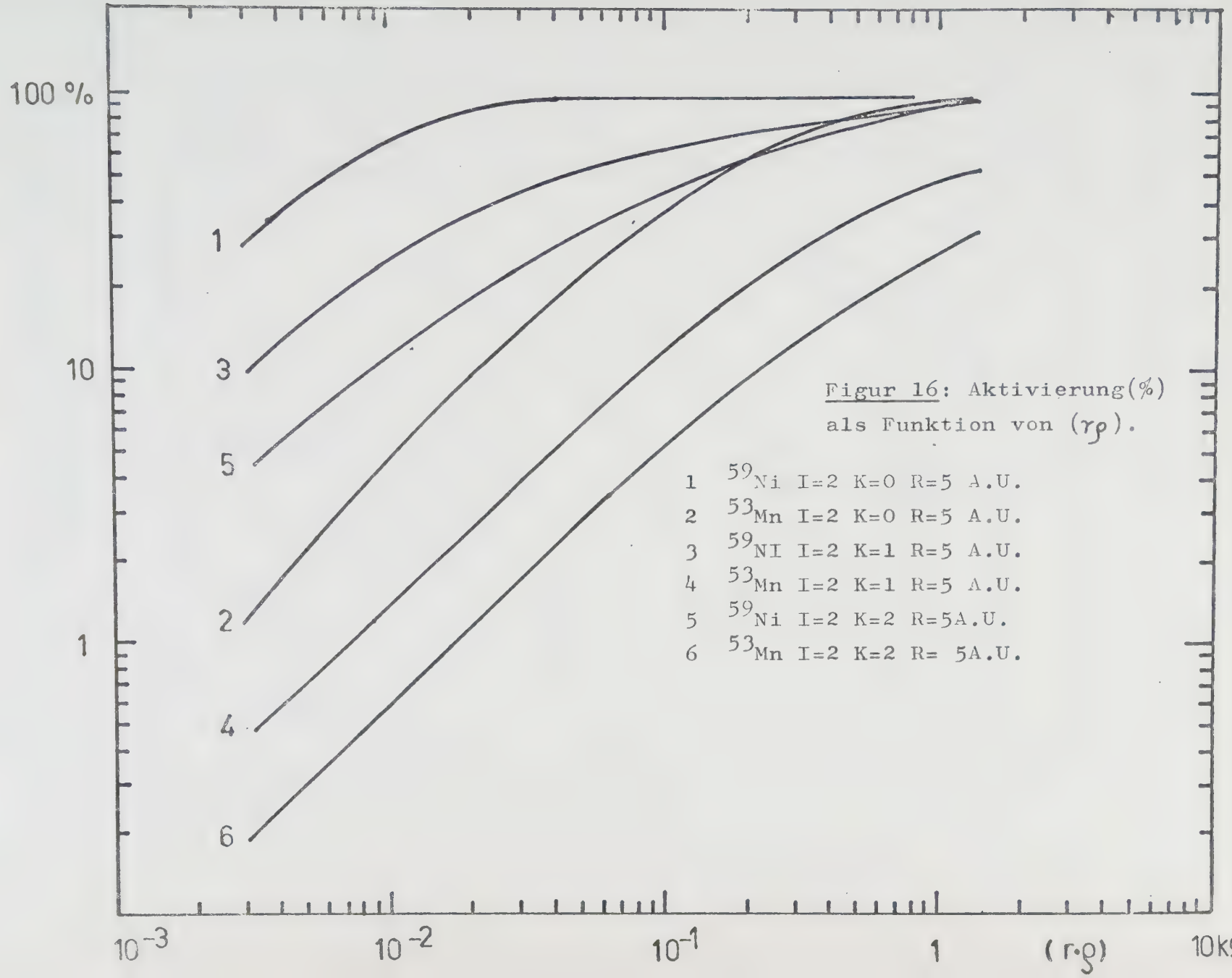
können.
Für einige ausgewählte Beispiele sind die Abhängigkeiten der Aktivierungsfaktoren von den aufgeführten Parametern graphisch dargestellt (Figuren 16-19).
Figur 16 zeigt den Gang der Aktivierung mit der Teilchengrösse und Dichte für verschiedene Werte von I und K bei einem Startort von X= 5 A.U. (~Asteroidengürtel),Figur 17 zeigt die Abhängigkeit vom Startort X.
Die erwarteten Effekte werden richtig wiedergegeben:Kleine Teilchen werden wenig,grosse aber infolge der längeren Bestrahlungsdauer stark aktiviert,wobei es aber für die letzteren zu berücksichtigen gilt,dass Teilchen von Radien über 100μ die Ablation in der Atmosphäre nur zum kleinsten Teil "überleben" (97,98).

Die stärkste Variation der Aktivierung wird erhalten durch Aenderung der Annahmen über den Exponenten K für die Abnahme der Teilchendichte der produzierenden Strahlung mit dem Sonnenabstand X. Neuere Messungen über die Gradienten der SEP-Flüsse nach "flares" über 0,7-1,5 A.U. (86-90), sowie Annahmen über Beschleunigungs-und Ausbreitungsmechanismen (91-95) lassen eine R-abhängigkeit zwischen R^{0} und $R^{-1,5}$ als wahrscheinlich erscheinen. Allgemein wird eine Aenderung der Aktivierung um einen Faktor ~5 erhalten, wenn man K von 0 auf 2 anwachsen lässt (Figur 18).

Die Beeinflussung der Aktivierung durch den Exponenten I (R-abhängigkeit der Dichte des solaren Wind) ist erwartungsgemäss gering (Figur 19), da die Berücksichtigung des Sonnenwindes die Bestrahlungszeit nur ca. um 20% verkürzt,verglichen mit der Bestrahlungszeit infolge des reinen Pointing-Robertson-Drag.

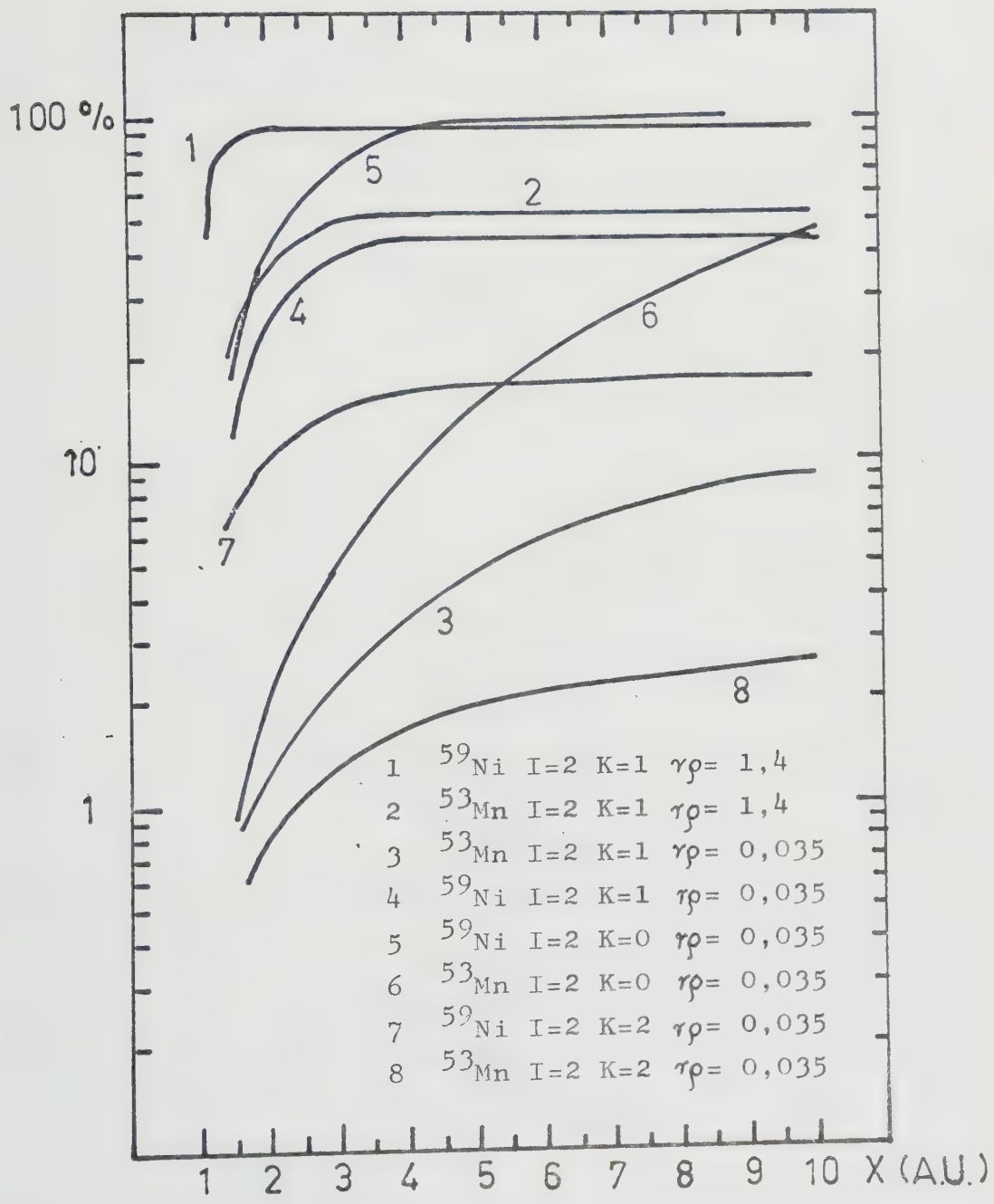
Bei Kenntnis der Massenverteilung des kosmischen Staubes ist es jetzt möglich,eine mittlere Aktivierung zu erhalten.Für eine Abschätzung dieser mittleren Aktivierung,wird wie folgt vorgegangen: Um eine untere Grenze für die tägliche Einfallsrate an kosmischem Staub zu erhalten , werden die Grössen-

verteilungen aus verschiedenen Raketenmessungen (21,31,98-102) gemittelt und mit Hilfe der Ablationstheorie von Kornblum (96,98) auf präatmosphärische Teilchengrössen umgerechnet. Anschliessend wird mit unserem Modell für Teilchen $>0,5\mu$ eine mittlere Aktivierung bestimmt (Tabelle 8). Als obere Grenze für die Einfallsrate wird eine gemittelte Massenverteilung aus Satellitendaten verwendet(21,31,98,102,103). Wird für die Dichte von Tiefseesedimenten 0,3 kg/dm^3, eine Akkumulationsrate von 2 mm /1000 y und ein Mn-und Ni-Gehalt von 1,5% beziehungsweise 0,03% (5) angenommen, so erhalten wir die in Tabelle 8 angeführten Aktivitäten.



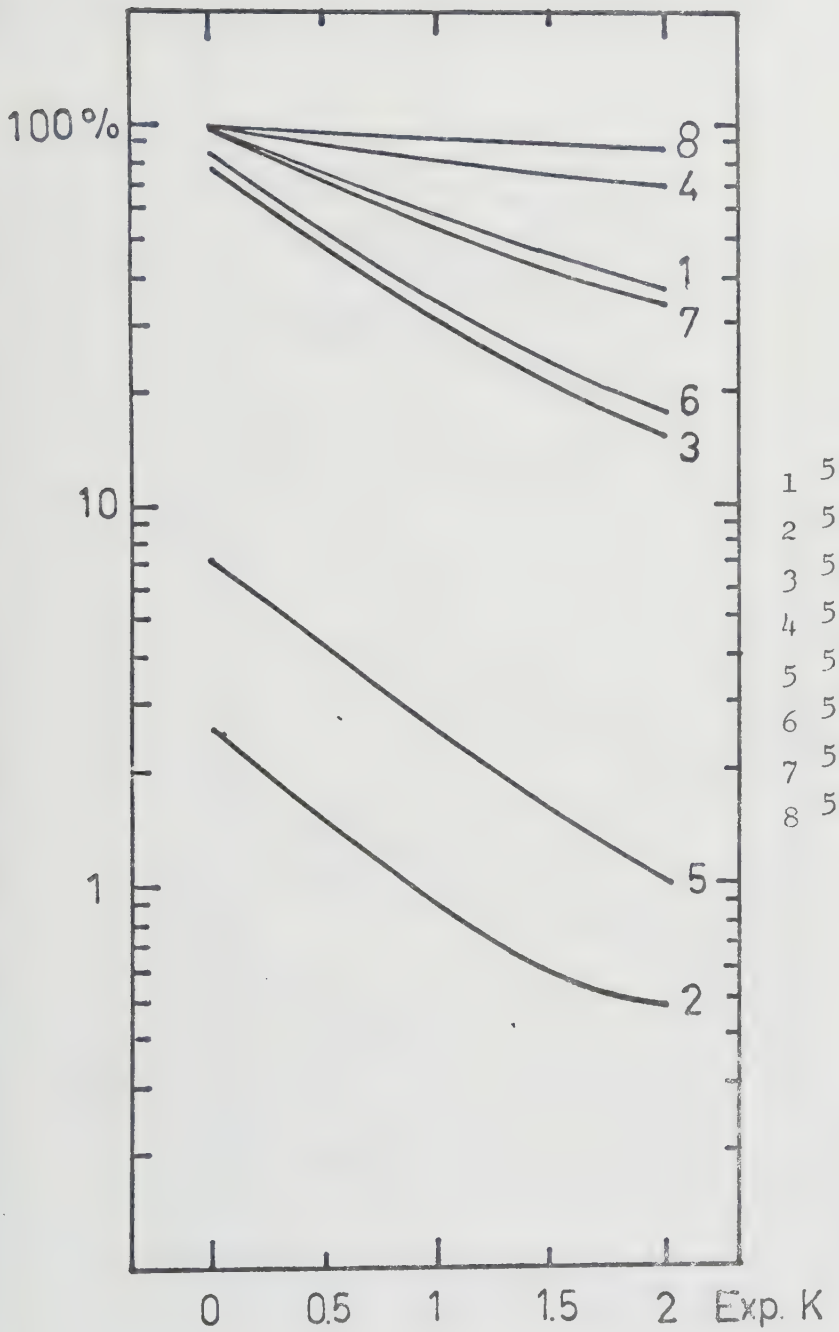
Figur 16: Aktivierung(%) als Funktion von $(r\rho)$.

1 ^{59}Ni I=2 K=0 R=5 A.U.
2 ^{53}Mn I=2 K=0 R=5 A.U.
3 ^{59}NI I=2 K=1 R=5 A.U.
4 ^{53}Mn I=2 K=1 R=5 A.U.
5 ^{59}Ni I=2 K=2 R=5A.U.
6 ^{53}Mn I=2 K=2 R= 5A.U.



Figur 17

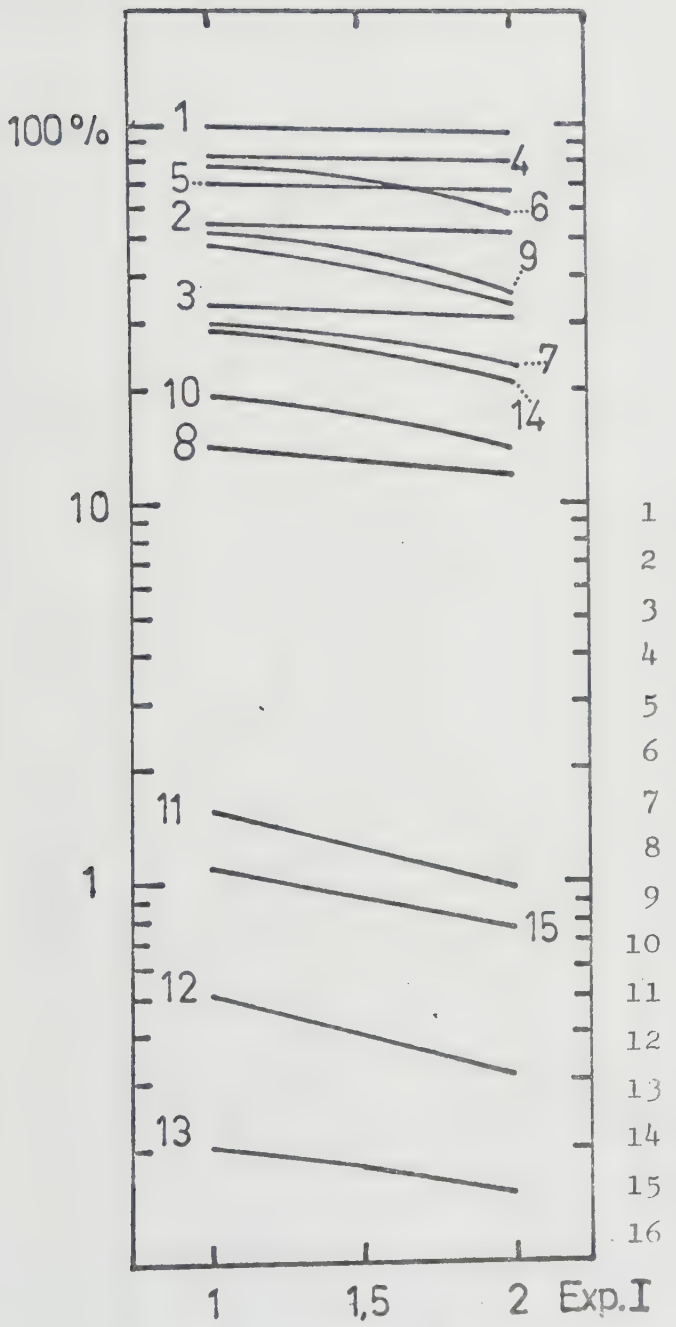
Aktivierung als Funktion des Startortes R=X A.U.



1 ^{59}Ni I=2 X=5 A.U. $r\rho$= 0,07
2 ^{53}Mn I=2 X=5 A.U. $r\rho$ = 0,07
3 ^{53}Mn I=2 X=5 A.U. $r\rho$= 0,35
4 ^{59}Ni I=2 X=5 A.U. $r\rho$= 0,35
5 ^{53}Mn I=2 X=5 A.U. $r\rho$= 0,0175
6 ^{59}Ni I=2 X=5 A.U. $r\rho$= 0,0175
7 ^{53}Mn I=2 X=5 A.U. $r\rho$= 1,4
8 ^{59}Ni I=2 X=5 A.U. $r\rho$= 1,4

Figur 18

Aktivierung(%) als Funktion des Exponenten K in $\phi_{SEP} = \phi_{SEP_0}(1 A.U.)\left(\frac{R_e}{R}\right)^K$.



1 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=1,4 K=0
2 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=1,4 K=1
3 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=1,4 K=2
4 ^{59}Ni X=5A.U. $r\varrho$=0,35 K=1
5 ^{59}Ni X=5A.U. $r\varrho$=0,35 K=2
6 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=0,35 K=0
7 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=0,35 K=1
8 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=0,35 K=2
9 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=0,0175K=0
10 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=0,0175K=1
11 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=0,0035K=0
12 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=0,0035K=1
13 ^{53}Mn X=5A.U. $r\varrho$=0,0035K=2
14 ^{59}Ni X=5A.U. $r\varrho$=0,0035K=0
15 ^{59}Ni X=5A.U. $r\varrho$=0,0035K=1
16 ^{59}Ni X=5A.U. $r\varrho$=0,0035K=2

Figur 19

Aktivierung (%) als Funktion des Exponenten I in $\bar{\varrho}_{SW} = \varrho_{SWo}(1\,A.U.)\left(\frac{R_e}{R}\right)^I$

Tabelle 8

Berechnete ^{53}Mn-und ^{59}Ni-Aktivitäten in Tiefseesedimenten

Isotop	Einfalls-rate t/d Erde	Produktionsrate (Sättigungsakt.) dpm/kg Staub	dpm/kg Sed.	dpm/kg Element	K	Aktivierung (%)	Aktivität dpm/kg Sed.	dpm/kg Element
^{53}Mn	80	650	0,07	4,7	0	7	0,005	0,33
					1	2	0,0015	0,1
	800		0,7	47	0	10	0,07	4,7
					1	3	0,02	1,3
^{59}Ni	80	330	0,03	9,1	0	45	0,015	50
					1	25	0,008	27
	800		0,3	91	0	75	0,23	700
					1	30	0,09	300

C EXPERIMENTELLE BESTIMMUNG DES DIFFERENTIELLEN WIRKUNGSQUERSCHNITTES DER REAKTION $^{56}FE\ (\alpha,n)\ ^{59}NI$

1. Einleitung

Mit Hilfe des in Abschnitt A beschriebenen Zählers wird es möglich, Wirkungsquerschnitte für Reaktionen, die zu langlebigen K-Einfängern führen, zu bestimmen, ohne dass dazu unrealistisch lange Bestrahlungszeiten notwendig sind.

Wie aus Abschnitt B 2.3. oder A 11. ersichtlich, erfolgt die Hauptproduktion von ^{59}Ni in kosmischem Staub oder auf der Mondoberfläche durch niederenergetische α-Teilchen solaren Ursprungs über die Reaktion $^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$. Da der Querschnitt dieser Reaktion unbekannt ist, schien es sinnvoll, den differentiellen Wirkungsquerschnitt zu bestimmen.
Dabei wurde folgender Weg eingeschlagen:
Die Bestrahlung mit α-Teilchen erfolgte an einem dicken Target aus reinem Fe von natürlicher Isotopenzusammensetzung. Das bestrahlte Target wurde anschliessend schichtenweise abgeätzt und die verschiedenen produzierten γ-Emmitter mit einem NaI-Kristall gemessen. Die Bestimmung der Aetztiefe und des den einzelnen abgeätzten Schichten entsprechenden Energieintervalls für die α-Teilchen wurden am produzierten ^{57}Co geeicht. Dieses Isotop entsteht durch die Reaktionen $^{54}Fe(\alpha,p)^{57}Co$ und $^{54}Fe(\alpha,n)^{57}Ni \rightarrow {}^{57}Co$, deren Wirkungsquerschnitte bekannt sind. Aus jeder abgeätzten Schicht wurde darauf das Ni chemisch abgetrennt und die ^{59}Ni-Aktivität in unserem Zähler durch den Nachweis der α_{KL}-X-Rays gemessen, woraus der Wirkungsquerschnitt berechnet werden konnte.

2. Target und Bestrahlung

Abschätzungen und Vergleiche mit bekannten Wirkungsquerschnitten analoger Reaktionen zeigen, dass ein relativ hoher α-Fluss angewandt werden muss, falls Bestrahlungszeiten von

mehr als 24 h vermieden werden sollen.Deshalb wurde ein dickes Target gewählt (Kühlproblem),das den Vorteil bietet, in einer Bestrahlung für alle Energiewerte $< E_{max.}$ der α-Teilchen nachweisbare ^{59}Ni-Aktivitäten zu erzeugen, andererseits aber den Nachteil aufweist , den Gang der Reaktion mit der Energie nicht beliebig fein auflösen zu können.

Es wurde ein Reineisentarget (Durchmesser: 0,5 inch,Dicke: 2 mm) der Qualität MARZ GRADE von natürlicher Isotopenzusammensetzung verwendet. In Tabelle 9 sind die Häufigkeiten der Eisenisotope und die an natürlichem Fe möglichen α-Reaktionen ,die zu radioaktiven Isotopen führen,angegeben.

Die Bestrahlung * erfolgte für 19,50 h bei einer Energie von 15,15 MeV ; die totale Ladung am Target betrug 77 000 μCb, was $2{,}4 \cdot 10^{17}$ α-Teilchen entspricht. Kurze Zeit nach der Bestrahlung und nachher in Abständen von ca.14 Tagen wurden vom Institut für Kernphysik der ETH die erwarteten Isotope ^{57}Ni, ^{57}Co und ^{60}Co,sowie geringfügig ^{54}Mn gemessen. Letzteres muss aus einer Targetverunreinigung entstanden sein. Die bestrahlte Stelle des Targets wurde mittels einer Radiographie ermittelt;der Durchmesser des Brennfleck betrug ca.2 mm.

3.Aetzung des Target

Diverse Aetzverfahren wurden an unbestrahlten Targets ausprobiert , um eine einfache Methode zu finden,die es erlaubt, möglichst homogen und reproduzierbar Schichten von einigen mg/cm^2 vom Target abzuheben. Das beste Resultat wurde mit folgender Aetzlösung erzielt (104-106):

---

* Die Bestrahlung erfolgte am Tandem-Van de Graaf-Beschleuniger des Institutes für Kernphysik der ETH,Zürich. Herrn Prof. Dr.P.Marmier möchte ich bestens danken für die ausgeführte Bestrahlung und für die wertvollen Ratschläge.

Tabelle 9

α-Reaktionen an Fe-Isotopen

Isotop	Häufigkeit	Reaktion	Zerfall des Reaktionsprod.	Halbwerts-zeit	Schwellen-energie Q-Wert (MeV)
^{56}Fe	0,9166	$^{56}Fe(\alpha,n)\ ^{59}Ni$	EC, kein	$7,5\ 10^{4}$ y	5,45
		$(\alpha,pn)\ ^{58}Co$	EC+β^++γ	71,3 d	14,6
		$(\alpha,\alpha n)\ ^{55}Fe$	EC, kein	2,6 y	11,4
		$(\alpha,2pn)\ ^{57}Co$	EC+β^++γ	270 d	23,8
		$(\alpha,\alpha pn)\ ^{54}Mn$	EC + γ	300 d	20,8
^{54}Fe	0,0582	$^{54}Fe(\alpha,n)\ ^{57}Ni$	EC+β^++γ	36 h	6,2
		^{57}Co ↓	EC+β^++γ	270 d	
		$(\alpha,p)\ ^{57}Co$	EC+β^++γ	270 d	1,9
		$(\alpha,2n)\ ^{56}Ni$	EC + γ	6 d	17,2
^{57}Fe	0,022	$^{57}Fe(\alpha,p)\ ^{60}Co$	β^-+γ	5,2 y	3,6
^{58}Fe	0,002	$^{58}Fe(\alpha,pn)\ ^{60}Co$	β^-+γ	5,2 y	14,3

25 g Oxalsäure
13 g Wasserstoffperoxid (30 %)
0,1 g H_2SO_4
1000 ml Wasser
Aetzzeit: 10-12 min.
Temperatur: 25°C.

Das Target wurde sorgfältig mit der Oberfläche der Aetzflüssigkeit in Berührung gebracht.Durch mehrmaliges Wägen des Targets vor und nach dem Aetzen und Trocknen wurde die abgeätzte Eisenmenge bestimmt. Die Homogenität der Aetzung wurde unter dem Mikroskop untersucht. Es konnten keine Unregelmässigkeiten festgestellt werden. Die Aetzflüssigkeit von je 15 ml wurde eingedampft und in Probengefässe von 1,5 cm^2 Bodenfläche übergeführt. Die Probenmenge einer einzelnen Schicht betrug nach dem Eindampfen ca.2,2 ml. Es wurden insgesamt 12 Schichten abgeätzt; die zugehörigen Fe-Mengen lagen zwischen 2,41 und 4,50 mg.

4.Energieeichung

Der absolute Wert der Energie und das Intervall der Energie der α-Teilchen,das den einzelnen Schichten entspricht,konnte anhand von weiteren α-induzierten Reaktionen bestimmt,beziehungsweise überprüft werden.Dazu wurden die Reaktionen $^{54}Fe(\alpha,p)^{57}Co$ und $^{54}(\alpha,n)^{57}Ni \rightarrow {}^{57}Co$ benutzt. Für diese Reaktionen existieren je zwei Messungen der differentiellen Wirkungsquerschnitte (82,96).

An sämtlichen Proben 1-12,die durch Abätzen gewonnen wurden , wurde mit einem 4"x4"NaI-Kristall die ^{57}Co-Aktivität bestimmt.Die experimentell bestimmte Ausbeute für diese Messung ergab $(29,0 \pm 0,5)$ % für das Total der beiden Linien 0,122 und 0,136 MeV. Da die Messung der ^{57}Co-Aktivität fünf Monate nach der Bestrahlung erfolgte,ist alles ^{57}Ni ($T_{\frac{1}{2}}$=36 h) bis auf weniger als 0,5 % in ^{57}Co ($T_{\frac{1}{2}}$=270 d) zerfallen. Es war deshalb möglich, aus der gemessenen ^{57}Co-Aktivität und den von der Wägung her bekannten Schichtdicken der Proben

den Summenquerschnitt $\sigma_i' = \sigma_{i\,(\alpha,p)} + \sigma_{i\,(\alpha,n)}$ der Reaktionen am ^{54}Fe zu bestimmen, gemäss der Beziehung:

$$\sigma_i' \cdot \frac{(\varrho x)_i \quad L \cdot C}{A} \cdot \phi T = \frac{N_{io}}{\lambda \varepsilon}$$

$\sigma_i' = \sigma_{(\alpha,p)} + \sigma_{(\alpha,n)}$

$(\varrho x)_i$ = Schichtdicke der Proben in g/cm^2

i Index Proben 1-12

L = Zahl von Avogadro

C = Isotopenhäufigkeit der Targetkerne

A = Molmasse des Targetelements

ϕT = Zahl der α-Teilchen durch Beschuss (ϕ = α-Fluss, T=Bestrahlungsdauer)

$\frac{N_{io}}{\varepsilon}$ = Gemessene ^{57}Co-Aktivität, für den Zeitpunkt der Bestrahlung korrigiert

$\cdot \varepsilon$ = Ausbeute der ^{57}Co-Messung

λ = Zerfallskonstante für ^{57}Co

Die so erhaltenen Werte für σ_i' wurden mit den gemittelten Werten σ, der Summe aus den zwei bekannten Anregungsfunktionen der Reaktionen $^{54}Fe(\alpha,p)$ und $^{54}Fe(\alpha,n)$ verglichen, wobei die den Schichtdicken zugehörige Energie mit dem Massenbremsvermögen $\frac{1}{\varrho}\frac{dE}{dx}$ für α-Teilchen in Fe (107) berechnet wurde. Energie- und Winkelstraggling sind gering und wurden nicht berücksichtigt.

Dieser Vergleich zeigte im allgemeinen Verlauf gute Uebereinstimmung, war aber nicht exakt: Die Proben 1 und 2 (erste Schichten der Aetzung) wiesen einzeln kleinere Aktivitäten und damit kleinere Werte für σ_i' auf als die folgende Probe Nr.3. Die Proben 3 bis 11 zeigten genau den Verlauf des Summenquerschnittes σ der bekannten Daten, nur etwas nach kleineren Energien verschoben. Die zu geringe Aktivität der Schichten 1 und 2 konnte dadurch erklärt werden, dass die Aetzung am Target für die ersten Schichten offenbar nicht ganz homogen erfolgte, da für den Brennfleck und die übrige

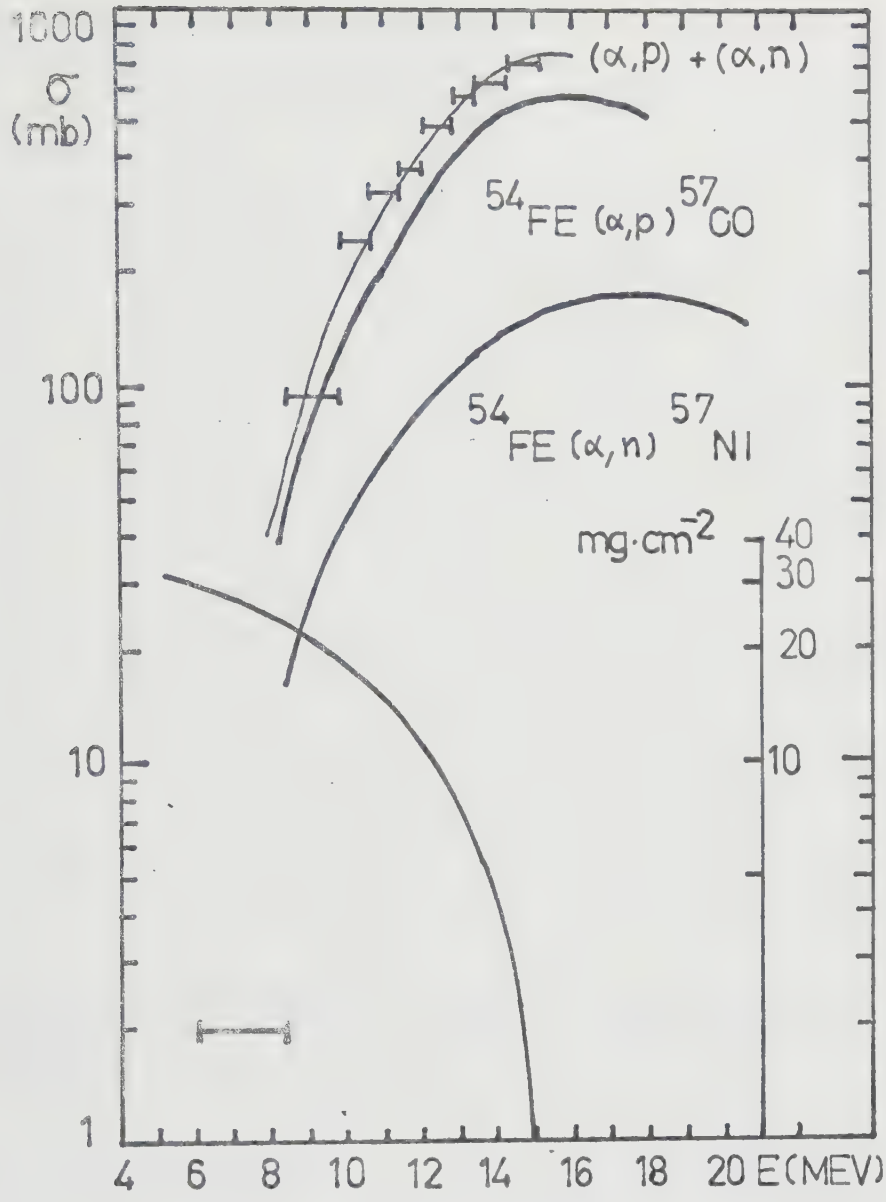
Targetfläche die Oberflächenstruktur nicht identisch war. Deshalb wurden die ^{57}Co-Aktivitäten für die Schichten 1 und 2 addiert und daraus eine effektive Schichtdicke(am Brennfleck) $(\rho x)'$ für das Total der beiden Proben berechnet,unter Berücksichtigung eines Wertes für den Wirkungsquerschnitt σ unterhalb der Maximalenergie von 15,15 MeV:

$$(\rho x)' = \frac{N_{o1} + N_{o2}}{\lambda \varepsilon} \frac{A}{L \cdot C \cdot \phi T} \left[\int_{14.4\,MeV}^{E_{max} = 15.15\,MeV} \sigma(E)\, dE \right]^{-1}$$

Mit diesem Wert für die Schichtdicke der Proben 1 und 2 und damit für das Energieintervall wurde σ_i' erneut berechnet,und ein neuer Vergleich mit den experimentellen Daten von σ versucht. Durch diese Korrektur werden die Werte der Proben 3-11 gesamthaft nach höheren Energien verschoben. Für die Proben 3-11 sind jedoch die ursprünglichen durch Wägung bestimmten Schichtdicken der Aetzung belassen. Das Resultat dieses erneuten Vergleiches ist in Figur 20 dargestellt. Die eingezeichneten Werte (⊢) bedeuten die berechneten σ_i' mit dem dazugehörigen Energieintervall. Die oberste Kurve zeigt den Summenquerschnitt σ aus den vorliegenden Daten der Reaktionen (α,p) und (α,n). Der erste Wert σ' unterhalb der Maximalenergie stammt von den Proben 1 und 2,die wie oben beschrieben korrigiert wurden;die folgenden Werte sind diejenigen für die Proben 3 bis 10.

Dieser Vergleich zeigt,dass das angewandte Aetzverfahren genügend homogene Aetzungen liefert.

Die daraus bestimmten Energieintervalle sind in Tabelle 9 aufgeführt. Der Fehler für die ^{57}Co-Messung ist für alle Proben besser als 3%. Der Vergleich an den Werten des Summenquerschnitts für die Reaktionen am ^{54}Fe ist nicht besser,als der Fehler der Querschnittsmessungen selbst (10-15%),so dass unter Berücksichtigung eines zusätzlichen Fehlers durch das Massenbremsvermögen ein maximaler Fehler für das Energieintervall von $\pm$0,3 MeV angenommen werden kann.



Figur 20

Vergleich der aus den gemessenen Co-Aktivitäten berechneten σ' mit den experimentellen Daten für die Summe der Reaktionen $^{54}(\alpha,p)$ und $^{54}Fe(\alpha,n)$. Die unterste Kurve zeigt die α-Energie als Funktion der Eindringtiefe (mg/cm^2) im Target.

Tabelle 10

Energieintervalle der Proben

Probe	Energieintervall (MeV)		Fehler (MeV)
1+2	14,4-15,15	0,55	-0,3
3	13,5-14,4	0,9	±0,3
4	12,9-13,5	0,6	
5	12,0-12,9	0,9	
6	11,4-12,0	0,6	
7	10,6-11,4	0,8	
8	9,9-10,6	0,7	
9	8,4- 9,9	1,5	
10	7,2- 8,4	1,2	
11	6,0- 7,2	1,2	

5. Differentieller Wirkungsquerschnitt der Reaktion $^{57}Fe(\alpha,p)^{60}Co$ für Energien unter 15,15 MeV

Die Produktion von ^{60}Co erfolgt ausschliesslich über die Reaktion $^{57}Fe(\alpha,p)$, da bei der maximalen α-Energie von 15,15 MeV die Reaktion $^{58}Fe(\alpha,p)$ noch nicht eingesetzt hat (Tabelle9).

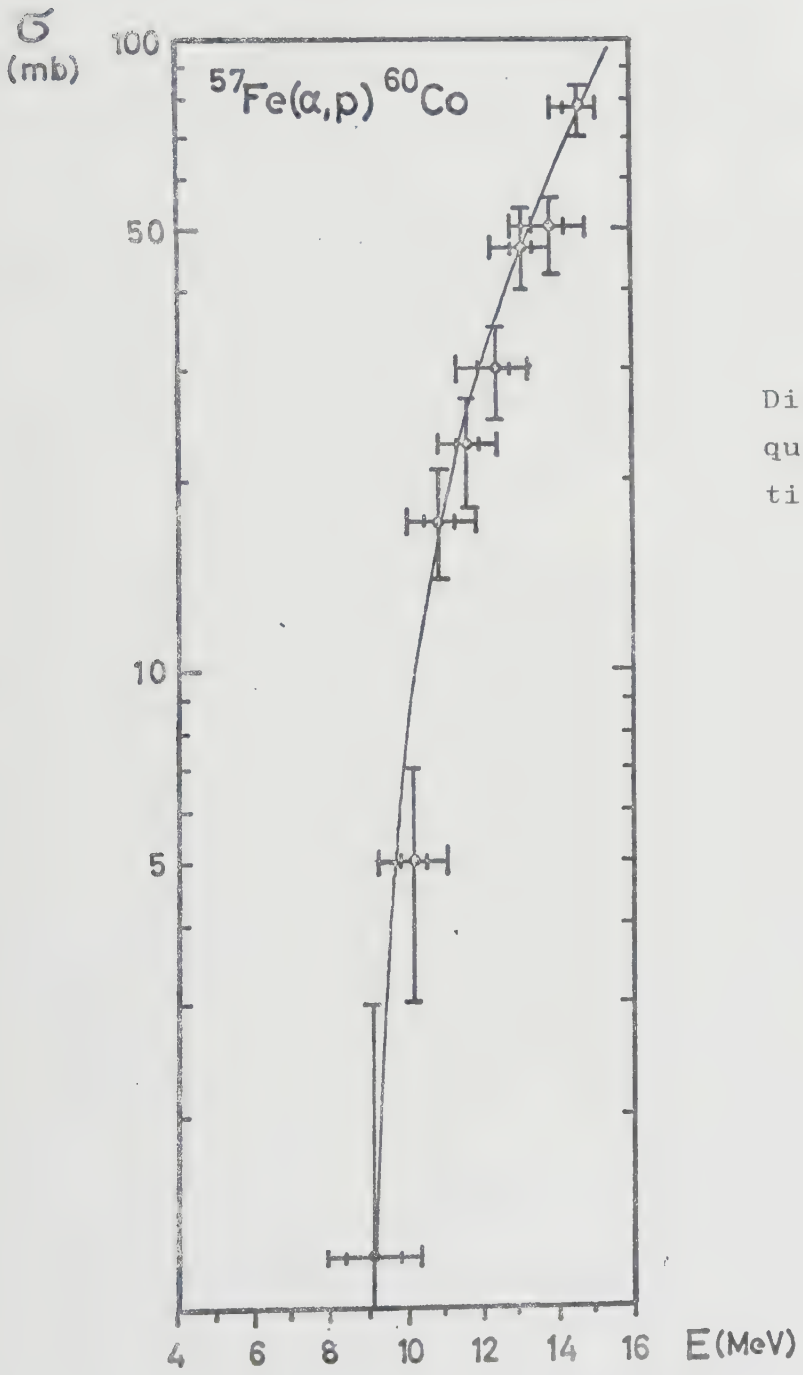
An sämtlichen Proben des bestrahlten Targets wurde die ^{60}Co-Aktivität gemessen. Die Messung wurde mit einem 4"x4"NaI-Kristall durchgeführt, und die experimentelle Ausbeute für die Linien 1,17 und 1,33 MeV zusammen betrug (22,4±0,7)%, der relative Messfehler für die Proben 1-9 zwischen 3,5 und 5 %. Für die Proben 10-12 war die bestimmte ^{60}Co-Aktivität kleiner als der Messfehler .

Die aus der ^{60}Co-Aktivität bestimmten Wirkungsquerschnitte für die entsprechenden Energieintervalle der Proben (siehe C 4.) sind in Tabelle 11 zusammengestellt, und aus Figur 21 ist der Verlauf der Anregungsfunktion ersichtlich.

Tabelle 11

Differentieller Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $^{57}Fe(\alpha,p)^{60}Co$

α-Energie (MeV)	ΔE (MeV)	σ (mb)	Fehler der Co-Messung (%)	$\Delta\sigma$ unter Berücksichtigung der Energieeichung und der Co-Mess. (mb)
14,4-15,15	±0,3	76,9	3,5	± 11,5
13,5-14,4	±0,3	49,7	3,5	7,4
12,9-13,5	0,3	46,9	3,5	7,0
12,0-12,9	0,3	31,0	3,5	4,6
11,[illegible]-12,0	0,3	22,8	4,0	3,6
10,6-11,4	0,3	17,3	4,0	2,7
9,9-10,6	0,3	4,8	4,5	1,2
8,4- 9,9	0,3	1,2	5,0	0,5



Figur 21

Differentieller Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $^{57}Fe(\alpha,p)^{60}Co$.

6. Differentieller Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$

Um die ^{59}Ni-Aktivität der einzelnen Targetschichten zu bestimmen, musste vorerst aus allen Proben das Ni separiert werden, da die übrigen niederenergetischen radioaktiven Reaktionsprodukte eine Direktmessung verunmöglichen.

Die Abtrennung * geschah unter Zugabe von Ni-Träger durch dreimalige Ausfällung von Nickeldimethylglyoxim in Gegenwart von Cu,Fe,Mn,Cr,Co und Zn. Anschliessend wurden Fällungen von Cu,Fe,Mn,Cr,Co und Zn durchgeführt und das Ni als Dimethylglyoximkomplex isoliert. Die Ausbeute der chemischen Abtrennung für das Ni lag zwischen 50% und 70%;der Fehler der bestimmten Ausbeuten betrug $\pm$ 5%.

Die separierten Ni-Fraktionen der Targetschichten wurden zwischen Trägerfolien montiert und die Ni-Aktivität in unserem Zähler (siehe Abschnitt A) durch den Nachweis der charakteristischen Strahlung von 6,9 KeV gemessen. Die Zählausbeute sowie deren Gang mit der Schichtdicke der separierten Proben wurden experimentell mit Ni-Standards gemessen.

Die chemische Separation geschah im Hinblick auf radioaktive Verunreinigungen sehr sauber, und die Abtrennung der Nachbarelemente war sehr effektiv. So übertraf z.B. die integrale Antikoinzidenzzählrate der aktivsten Probe diejenige der leeren Trägerfolien nur um einen Faktor 15. Diese Probe enthielt vor der Ni-Abtrennung ca. 0,15 μC ^{57}Co. Für die inaktivste Probe war der integrale Nettoeffekt von der gleichen Grösse wie der zugehörige Nulleffekt. In keinem Fall konnten andere Energien (zwischen 2 keV und 9 keV) als diejenige des Ni nachgewiesen werden.

---

* Die chemische Abtrennung wurde von Herrn PD. Dr. HR. von Gunten, Chem.Institut,Universität Bern und Eidg.Institut für Reaktorforschung,Würenlingen,durchgeführt. Ich möchte ihm für seine Mitarbeit bestens danken.

Der Messfehler für die Proben 1-10 lag zwischen ±2% und ±5%. (Für die Probe 11 konnte kein Nettoeffekt über dem Nulleffekt erhalten werden.) Zusammen mit dem Fehler für die Ausbeute des Zählers (abhängig vom Fehler des Eichstandards) und unter Berücksichtigung des Fehlers der Energieeichung (siehe Abschnitt C 4.) wird für den aus den gemessenen Ni-Aktivitäten berechneten Wirkungsquerschnitt der Reaktion $^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$ ein maximaler Fehler von ±25% angenommen.

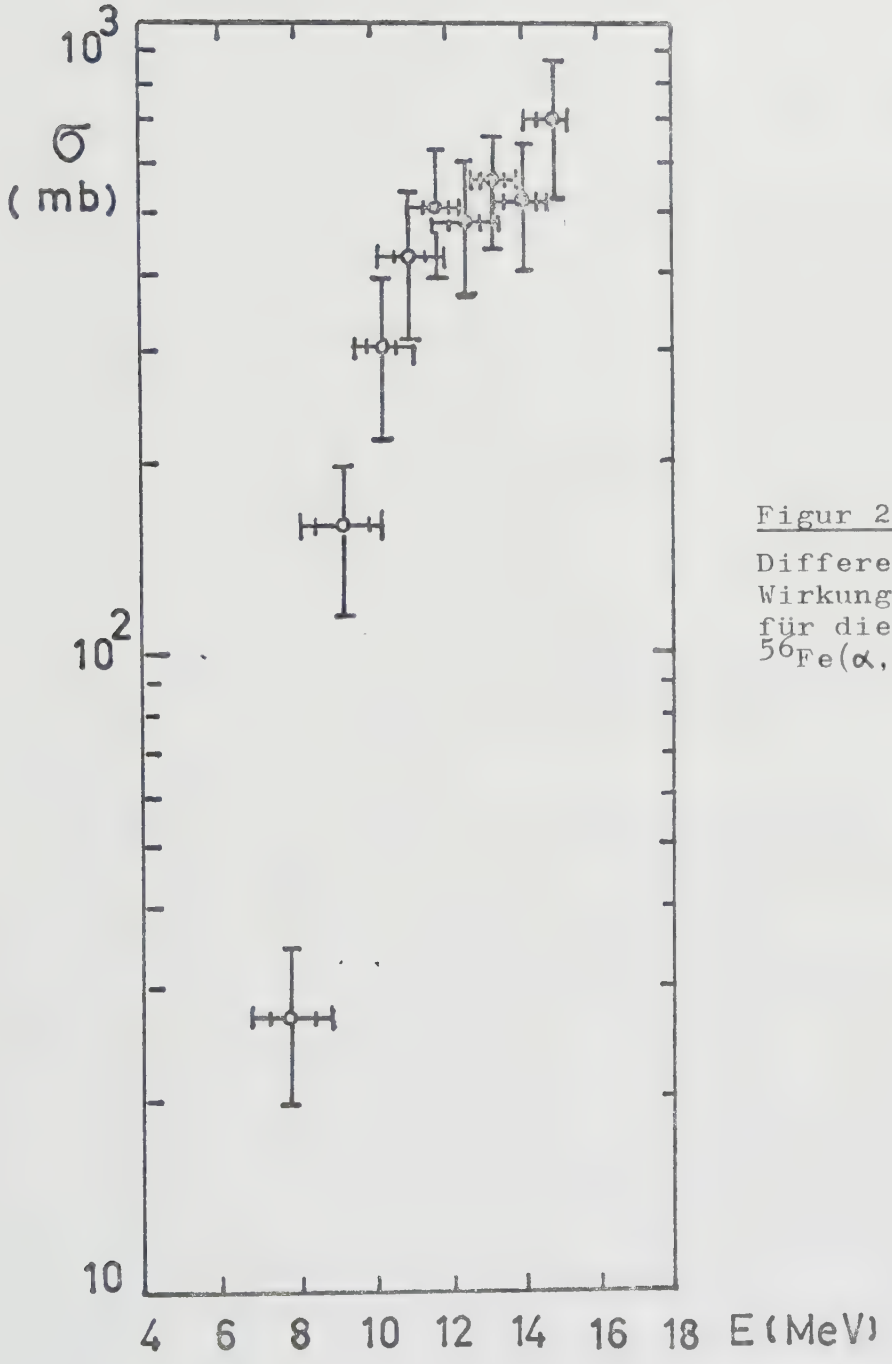
Die erhaltenen Wirkungsquerschnitte und die entsprechenden Energieintervalle sind in Tabelle 12 angegeben. Figur 22 zeigt den Verlauf der Anregungsfunktion.

Tabelle 12

Wirkungsquerschnitt der Reaktion
$^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$

Energieintervall (MeV)	ΔE Fehler (MeV)	σ (mb)	$\Delta\sigma$ (mb)
14,4-15,15	-0,3	705	±175
13,5-14,4	±0,3	518	130
12,9-13,5		560	140
12,0-12,9		480	120
11,4-12,0		510	128
10,6-11,4		430	108
9,9-10,6		310	78
8,4- 9,9		160	40
7,2- 8,4		27	7

Der Wert von 705±175 mb kann als representativ für den Maximalquerschnitt angesehen werden,wenn man mit (α,n)-Reaktionen von Kernen ähnlicher Masse (76) vergleicht und die Konkurrenzreaktionen berücksichtigt. Der geometrische Querschnitt der Reaktion beträgt 895 mb.



Figur 22

Differentieller Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $^{56}Fe(\alpha,n)^{59}Ni$

LITERATURVERZEICHNIS

1 Oepik E.J.,Irish Astron.J.4(1956)84.
2 Wasson J.T.,Icarus 2(1963)54.
3 Parkin D.W. und Hunter W.,Advances in Astronomy and Astrophysics 1(1962)114.
4 Shapiro I.I. et al., J.Geophys.Res.71(1966)5695-5733.
5 Lal D. und Venkatavaradan V.S.,Earth and Planet.Sci.Lett. 3(1967)299.
6 Nilsson C., Science 153(1966)1242.
7 Divari N.B.,Soviet Astronomy 10(1967)1017.
8 Tilles D.,NASA-SP-135,SCA Vol.II(1967).
9 Tilles D.,Science 148(1965)1085.
10 Tilles D.,Science 153(1966)981.
11 Tilles D.,Icarus 7(1967)94.
12 Singer F.,Science 156(1966)1080.
13 Goldberg E.D. und Koide M.,Science 128(1958)1003.
14 Fireman E.L. und Langway C.C.Jr.,Geochim. and Cosmochim.Acta 29(1965)21.
15 Amin B.S. et al.,Deep Sea Research 13(1966)1.
16 Lal D. und Venkatavaradan V.S.,Science 151(1966)1381.
17 Wasson J.T. et al.,Science 155(1967)446.
18 Alder B.,Dissertation Universität Bern,1967.
19 Brocas J. und Picciotto E.J.,Geophys.Res. 72(1967)2229.
20 Tanaka S. et al.,Science 160(1968)1348.
21 Hemenway C.L. und Sobermann R.K.,Astron.J. 67(1962)256.
22 Wright F.W. und Hodge P.W.,Nature 4838(1962)269.
23 Alexander W.M. et al.,Space Res.III(1963)891.
24 Merrihue C.,Ann.New York Acad.Sci. 119(1964)355.
25 Schaeffer D. et al.,Ann.New York Acad.Sci. 119(1964)349.
26 Yanif A. und Shafir U.,Space Res.VII(1965)1403.
27 Gerloff U. et al.,Space Res.VII(1965)1412.
28 Farlow H. et al.,Space Res.VII(1965)1421.
29 Nazarow T.N.,Space Res.VII(1965)1439.
30 Mikirow A.E., Space Res.VII(1965)1432.

31 Hemenway C.L. et al.,Space Res.VII(1965)1421.

32 Alexander W.M. et al.,Science 149(1965)1240.

33 Sobermann R.K. und Hemenway C.L.,J.Geophys.Res. 70(1965)4943.

34 Farlow N.H. et al.,J.Geophys.Res. 711966)5689.

35 Parkin D.W. et al.,Geochim. and Cosmochim.Acta 31(1967)1311.

36 McCorkell R. und Fireman E.L., Science 158(1967)1690.

37 Somayajulu B.L.K.,Science 159(1967)1.

38 Bandhari N. et al.,J.Geophys.Res.73(1968)1837.

39 Wright F.W. und Hodge P.W.,J.Geophys.Res. 68(1963)5575.

40 Langway C.C.Jr. und Marvin U.B.,Ann.New York Acad.Sci. 119(1964)205.

41 Schmidt R.A.,NASA-TN-D-2719(1965)

42 Schmidt R.A. und Keil K.,Geochim.and Cosmochim. Acta 30 (1966)471.

43 Shima M. und Kimoto S.,Chem.Geology 1(1966)77.

44 Wahlen M. und Oeschger H.,Nucl.Instr.and Methods 66(1968)193.

45 Wahlen M.,Lizentiatsarbeit,Universität Bern (1965)

46 Oeschger H., Loosli H. und Wahlen M., Proceedings of the IAEA Conf.Monaco,(1967)593.

47 Oeschger H., Houtermans J., Loosli H. und Wahlen M., Proceedings of the XII Nobel Symposium, Uppsala,(1969) erscheint anfangs 1970.

48 LunarSample Information Catalog, Apollo 11,31.Aug.(1969).

49 Preliminary examination of Lunar Sample from Apollo 11, Science 165(1969)1211.

50 Kohman T.P. und Bender L.M. in "High Energy Nuclear Reactions in Astrophysics", W.A.Benjamin Inc.(1967)169.

51 Johnson C.H. et al., ORNL-2910(1960)25.

52 Tanaka S. und Furukawa M., J.Phys.Soc. Japan, 14(1959)1269.

53 Gusakow M. et al., J.Phys.Radium 22(1961)636.

54 Tanaka S. et al., J.Phys.Soc.Japan 15(1960)545.

55 Tanaka S. et al., J.Phys.Soc.Japan 15(1960)1547.

56 Robertson H.P., Mon.Not.Roy.Astr.Soc.97(1937)423.

57 Wyatt S.P. und Whipple F.L.,Astrophys.J.111(1950)134.

58 Carpenter D.G. und Patusek R.R., Planet.Space Sci.15(1967)593.

59 Fan C.Y. et al.,Can.J.of Physics 46(1968)498.

56 Robertson H.P., Mon.Not.Roy.Astr.Soc. 97(1937)423.

57 Wyatt S.P. und Whipple F.L.,Astrophys.J. 111(1950)134.

58 Carpenter D.G. und Patusek R.R.,Planet.Space Science 15(1967)593.

59 Fan C.Y. et al.,Can.J.of Phys. 46(1968)498.

60 Gloeckler G. und Jokipii J.R.,Phys.Rev.Lett. 17(1966)203.

61 Freier P.S. und Webber W.R.,J.of Geophys.Res. 68(1963)1605.

62 Webber W.R., Handbuch der Physik Vol.XLVI/2(1967)181.

63 Webber W.R.,NASA-SP-50,(1963)215.

64 Biswas S. und Fichtel C.E.,Space Sci.Rev. 4(1965)709.

65 Sherr R. und Brady F.P.,Phys.Rev. 124(1961)1928.

66 Kumabe I.,Nucl.Phys. 45,46(1963)445.

67 Fulmer B.C. und Goodman C.D.,Phys.Rev. 117(1960)1339.

68 Bullmann J. et al.,Nucl.Phys. 69(1965)536.

69 Bearpark K. et al.,Nucl.Phys. 73(1965)206.

70 Dicello I. et al.,Phys.Rev. 157(1967)1001.

71 Chodil A. et al.,Nucl.Phys.93A(1967)648.

72 Kaufmann S.,Phys.Rev. 117(1960)1532.

73 Goshal S.N.,Phys.Rev. 80(1960)939.

74 Johnson C.H. et al.,Phys.Rev. 109(1958)1243.

75 Johnson C.H. et al.,ORNL-2910(1960)25.

76 Lange I. und Münzel H.,Abschätzung unbekannter Anregungsfunktionen,KFK 767(1968)Kernforschungszentrum Karlsruhe.

77 Blosser H.G. und Handley T.H.,Phys.Rev. 100(1955)1340.

78 Bostick H.A.,UCRL-8528,Contr.W-7405eng-48.

79 Tanaka S.,J.of Phys.Soc. Japan 15(1960)2159.

80 Hansen L.F. und Albert R.D.,Phys.Rev. 128(1962)291.

81 Cohen B.L. et al.,Phys.Rev. 99(1955)723.

82 Tanaka S. et al., J.Phys.Soc.Japan 15(1960)1547.

83 Wirkungsquerschnitte für Reaktionen geladener Teilchen mit Mn, Fe und Co, ORNL-CPX 1(1964).

84 Lavrukhina A.K. et al.,Sov.Phys. JETP 17(1963)960.

85 Houtermans J. und Wahlen M.,Threshold energies computed from mass excess values for p,n,d, ,t,^{3}He-react.(Univers.Bern,1968)

86 Comstock C.M. et al.,in"Recent advances in Cosmic Ray Res.", Douglas Research Lab., (1960)136.

87 Vernov S.N. et al.,Can.J.of Physics 46(1968)812.

88 O'Gallagher J.J. und Simpson J.A.,Phys.Rev.Lett. 16(1966)1212.
89 Krimigis S.M. und van Allen J.A.,Phys.Rev.Lett. 16(1966)419.
90 Andersson H.R.,J.Geophys.Res. 73(1968)2897.
91 Briant D.A. et al.,J.Geophys.Res. 67(1962)4983.
92 Lin R.P. et al.,Solar Physics 4(1968)338.
93 Lanzerotti L.J.,J.Geophys.Res. 74(1969)2851.
94 Krimigis S.M. in "Recent advances in Cosmic Ray Res.", Douglas Research Lab. (1967).
95 Comstock C.M.,Can.J.of Physics, 46(1968)553.
96 Houck F.S. und Miller J.M.,Phys.Rev.123(1961)231.
97 Kornblum J.J.,J.Geophys.Res. 74(1969)1893.
98 Kornblum J.J.,J.Geophys.Res. 74(1969)1908.
99 Carr M. und Gabe J.H.,J.Geophys.Res.72(1967)4007.
100 Farlow H.et al.,Space Res.VIII(1968)557.
101 Blanchard F.,J.Geophys.Res.73(1968)6347.
102 Weihrauch J.H.et al.,Space Res.VIII(1968)566.
103 Hemenway C.L.et al.,Space Res.VIII(1968)521.
104 Tegart W.J., Electrolitic and Chemical Polishing of Metals in Research and Industry,Pergamon Press(1959)second Edition, p.108.
105 Marshall W.A.,J.Electrodep.Tech.Soc.28(1952)27.
106 Sachs K.und Odgers M.,Trans. Inst. Met.Finishing 33(1956).
107 Whaling W.,HandbucH der Physik XXXIV(1958)193.

Anhang

TABELLEN DER AKTIVIERUNG VON KOSMISCHEM STAUB FUER ^{53}MN UND ^{59}NI

Darin bedeuten:

M , RP(M)=$(r\cdot\rho)$, z.B. 0,0035 kg/m^2

L , T(L)=$T_{\frac{1}{2}}$,Halbwertszeit für ^{53}Mn oder ^{59}Ni (y)

JJ = Zahl der Intervalle ΔX bei der Integration

H = Intervall ΔX (A.U.,Astronomische Einheit)

X = Startort (A.U.)

I = Exponent in $\rho_{sw} = \rho_{sw\,o}\left(\frac{Re}{R}\right)^I$

I=1 : 2

I=2 : 1,5

I=3 : 1

K = Exponent in Abhängigkeit der differentiellen SEP-Flüsse vom Sonnenabstand R

K=0 : 0

K=1 : 0,3

K=2 : 0,6

K=3 : 1

K=4 : 1,5

K=5 : 2

Es wird für jeden Wert von $(r\cdot\rho)$ zuerst die Funktion G($r\rho$,X,I)=Bestrahlungszeit in (y) und anschliessend unter NON-EQUILIBRIUM FACTOR die erreichte Sättigung zuerst für ^{53}Mn und dann für ^{59}Ni tabelliert.

In Fällen,bei denen die Abstände X(=Startort in A.U.) nicht bis 10 A.U. aufgeführt sind, ergibt die Berechnung des Integranden für grössere als die angeführten Werte von $X_{max.}$ einen extrem kleinen Betrag,so dass diese unterdrückt werden.In solchen Fällen wird der Staub zur Hauptsache nur innerhalb der angegebenen Werte für X(1 A.U $\leqslant X \leqslant X_{max.}$) aktiviert.

M, RP(M) = 1, .0035 . L, T(L) = 1, 1900000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)-M L = B = 1.1

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
	SØLAR WIND EXPNT									
I=1	2.0	0.5281E 04	0.1408E 05	0.2640E 05	0.4225E 05	0.6162E 05	0.8451E 05	0.1109E 06	0.1408E 06	0.1743E 06
I=2	1.5	0.4944E 04	0.1248E 05	0.2234E 05	0.3433E 05	0.4832E 05	0.6418E 05	0.8182E 05	0.1011E 06	0.1221E 06
I=3	1.0	0.4580E 04	0.1072E 05	0.1789E 05	0.2581E 05	0.3427E 05	0.4317E 05	0.5241E 05	0.6193E 05	0.7168E 05

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=										
K=0	0.00	0.1924E-02	0.5125E-02	0.9588E-02	0.1529E-01	0.2223E-01	0.3036E-01	.3966E-01	0.5009E-01	0.6161E-01
K=1	.30	0.1697E-02	0.4125E-02	0.7188E-02	0.1082E-01	0.1497E-01	0.1961E-01	.2469E-01	0.3018E-01	0.3604E-01
K=2	.60	0.1502E-02	0.3346E-02	0.5449E-02	0.7763E-02	0.1025E-01	0.1290E-01	.1567E-01	0.1856E-01	0.2154E-01
K=3	1.00	0.1283E-02	0.2563E-02	0.3838E-02	0.5107E-02	0.6368E-02	0.7619E-02	.8859E-02	0.1008E-01	0.1130E-01
K=4	1.50	0.1063E-02	0.1877E-02	0.2561E-02	0.3160E-02	0.3698E-02	0.4189E-02	.4642E-02	0.5063E-02	0.5457E-02
K=5	2.00	0.8912E-03	0.1410E-02	0.1777E-02	0.2080E-02	0.2290E-02	0.2483E-02	.2649E-02	0.2793E-02	0.2921E-02
I=										
K=0	0.00	0.1802E-02	0.4543E-02	0.8178E-02	0.1244E-01	0.1747E-01	0.2314E-01	0.2940E-01	0.3623E-01	0.4357E-01
K=1	.30	0.1592E-02	0.3673E-02	0.6127E-02	0.8885E-02	0.1189E-01	0.1513E-01	0.1855E-01	0.2214E-01	0.2588E-01
K=2	.60	0.1411E-02	0.2993E-02	0.4679E-02	0.6436E-02	0.8243E-02	0.1008E-01	0.1195E-01	0.1384E-01	0.1575E-01
K=3	1.00	0.1209E-02	0.2308E-02	0.3331E-02	0.4294E-02	0.5209E-02	0.6081E-02	0.6917E-02	0.7720E-02	0.8494E-02
K=4	1.50	0.1005E-02	0.1705E-02	0.2254E-02	0.2709E-02	0.3099E-02	0.3442E-02	0.3747E-02	0.4023E-02	0.4274E-02
K=5	2.00	0.8455E-03	0.1292E-02	0.1587E-02	0.1802E-02	0.1969E-02	0.2104E-02	0.2215E-02	0.2310E-02	0.2391E-02
I=3										
K=0	0.00	0.1669E-02	0.3903E-02	0.6507E-02	0.9371E-02	0.1242E-01	0.1562E-01	0.1893E-01	0.2234E-01	0.2581E-01
K=1	.30	0.1478E-02	0.3176E-02	0.4965E-02	0.6790E-02	0.8622E-02	0.1044E-01	0.1225E-01	0.1404E-01	0.1581E-01
K=2	.60	0.1313E-02	0.2606E-02	0.3836E-02	0.4999E-02	0.6093E-02	0.7139E-02	0.8129E-02	0.9071E-02	0.9971E-02
K=3	1.00	0.1128E-02	0.2028E-02	0.2775E-02	0.3413E-02	0.3970E-02	0.4463E-02	0.4905E-02	0.5306E-02	0.5671E-02
K=4	1.50	0.9428E-03	0.1516E-02	0.1917E-02	0.2219E-02	0.2457E-02	0.2651E-02	0.2812E-02	0.2950E-02	0.3069E-02
K=5	2.00	0.7962E-03	0.1163E-02	0.1379E-02	0.1522E-02	0.1623E-02	0.1700E-02	0.1759E-02	0.1806E-02	0.1845E-02

M, RP(M) = 1, .0035 . L, T(L) = 2, 75000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)=M.L = B - T.2

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
SØLAR WIND EXPNT										
I=1	2.0	0.5281E 04	0.1408E 05	0.2640E 05	0.4225E 05	0.6162E 05	0.8451E 05	0.1109E 06	0.1408E 06	0.1743E 06
I=2	1.5	0.4944E 04	0.1248E 05	0.2234E 05	0.3433E 05	0.4832E 05	0.6418E 05	0.8182E 05	0.1011E 06	0.1221E 06
I=3	1.0	0.4580E 04	0.1072E 05	0.1789E 05	0.2581E 05	0.3427E 05	0.4317E 05	0.5241E 05	0.6193E 05	0.7168E 05

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	0.00	0.4763E-01	0.1220E 00	0.2165E 00	0.3233E 00	0.4342E 00	0.5420E 00	0.6412E 00	0.7279E 00	0.8003E 00
K=1	.30	0.4204E-01	0.9854E-01	0.1634E 00	0.2314E 00	0.2979E 00	0.3595E 00	0.4137E 00	0.4594E 00	0.4962E 00
K=2	.60	0.3723E-01	0.8078E-01	0.1247E 00	0.1681E 00	0.2080E 00	0.2432E 00	0.2728E 00	0.2968E 00	0.3156E 00
K=3	1.00	0.3184E-01	0.6169E-01	0.8876E-01	0.1125E 00	0.1327E 00	0.1494E 00	0.1626E 00	0.1729E 00	0.1805E 00
K=4	1.50	0.2643E-01	0.4543E-01	0.5996E-01	0.7120E-01	0.7984E-01	0.8638E-01	0.9124E-01	0.9475E-01	0.9723E-01
K=5	2.00	0.2217E-01	0.3431E-01	0.4212E-01	0.4744E-01	0.5114E-01	0.5371E-01	0.5549E-01	0.5669E-01	0.5750E-01
I=2										
K=0	0.00	0.4466E-01	0.1089E 00	0.1865E 00	0.2719E 00	0.3601E 00	0.4474E 00	0.5305E 00	0.6073E 00	0.6765E 00
K=1	.30	0.3949E-01	0.8833E-01	0.1416E 00	0.1960E 00	0.2489E 00	0.2987E 00	0.3442E 00	0.3846E 00	0.4198E 00
K=2	.60	0.3504E-01	0.7218E-01	0.1088E 00	0.1435E 00	0.1752E 00	0.2036E 00	0.2285E 00	0.2498E 00	0.2677E 00
K=3	1.00	0.3004E-01	0.5588E-01	0.7813E-01	0.9716E-01	0.1132E 00	0.1267E 00	0.1378E 00	0.1468E 00	0.1541E 00
K=4	1.50	0.2501E-01	0.4148E-01	0.5343E-01	0.6243E-01	0.6930E-01	0.7459E-01	0.7865E-01	0.8177E-01	0.8414E-01
K=5	2.00	0.2106E-01	0.3159E-01	0.3802E-01	0.4228E-01	0.4522E-01	0.4730E-01	0.4878E-01	0.4985E-01	0.5062E-01
I=3										
K=0	0.00	0.4144E-01	0.9432E-01	0.1524E 00	0.2122E 00	0.2715E 00	0.3290E 00	0.3839E 00	0.4358E 00	0.4844E 00
K=1	.30	0.3672E-01	0.7694E-01	0.1168E 00	0.1549E 00	0.1905E 00	0.2233E 00	0.2533E 00	0.2807E 00	0.3054E 00
K=2	.60	0.3265E-01	0.6328E-01	0.9075E-01	0.1150E 00	0.1364E 00	0.1551E 00	0.1715E 00	0.1859E 00	0.1985E 00
K=3	1.00	0.2808E-01	0.4942E-01	0.6612E-01	0.7945E-01	0.9027E-01	0.9914E-01	0.1064E 00	0.1125E 00	0.1177E 00
K=4	1.50	0.2348E-01	0.3711E-01	0.4608E-01	0.5239E-01	0.5701E-01	0.6050E-01	0.6318E-01	0.6528E-01	0.6695E-01
K=5	2.00	0.1985E-01	0.2858E-01	0.3342E-01	0.3640E-01	0.3838E-01	0.3975E-01	0.4073E-01	0.4146E-01	0.4200E-01

M, RP(M) = 2, .0175 . L, T(L) = 1, 1900000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)-M L = B = 2.1

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
	SØLAR WIND EXPNT									
I=1	2.0	0.2640E 05	0.7041E 05	0.1320E 06	0.2112E 06	0.3081E 06	0.4225E 06	0.5546E 06	0.7043E 06	0.8715E 06
I=2	1.5	0.2472E 05	0.6240E 05	0.1117E 06	0.1716E 06	0.2416E 06	0.3209E 06	0.4091E 06	0.5058E 06	0.6106E 06
I=3	1.0	0.2289E 05	0.5359E 05	0.8947E 05	0.1290E 06	0.1713E 06	0.2158E 06	0.2620E 06	0.3096E 06	0.3584E 06

INTEGRAL = NØN=EQUILIBRIUM FACTØR

	S.E.P. EXPNT									
	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	0.00	0.9586E-02	0.2536E-01	0.4702E-01	0.7418E-01	0.1063E 00	0.1428E 00	0.1831E 00	0.2265E 00	0.2723E 00
K=1	.30	0.8456E-02	0.2042E-01	0.3529E-01	0.5258E-01	0.7185E-01	0.9269E-01	0.1147E 00	0.1375E 00	0.1608E 00
K=2	.60	0.7484E-02	0.1657E-01	0.2678E-01	0.3779E-01	0.4935E-01	0.6124E-01	0.7327E-01	0.8530E-01	0.9716E-01
K=3	1.00	0.6394E-02	0.1270E-01	0.1890E-01	0.2493E-01	0.3078E-01	0.3641E-01	0.4178E-01	0.4689E-01	0.5172E-01
K=4	1.50	0.5301E-02	0.9376E-02	0.1263E-01	0.1548E-01	0.1798E-01	0.2019E-01	0.2215E-01	0.2391E-01	0.2547E-01
K=5	2.00	0.4443E-02	0.7005E-02	0.8787E-02	0.1013E-01	0.1120E-01	0.1207E-01	0.1278E-01	0.1339E-01	0.1389E-01
I=2										
K=0	0.00	0.8978E-02	0.2251E-01	0.3993E-01	0.6071E-01	0.8436E-01	0.1104E 00	0.1386E 00	0.1685E 00	0.1997E 00
K=1	.30	0.7933E-02	0.1820E-01	0.3017E-01	0.4340E-01	0.5758E-01	0.7248E-01	0.8787E-01	0.1035E 00	0.1194E 00
K=2	.60	0.7034E-02	0.1484E-01	0.2306E-01	0.3149E-01	0.4000E-01	0.4849E-01	0.5690E-01	0.6517E-01	0.7326E-01
K=3	1.00	0.6025E-02	0.1145E-01	0.1644E-01	0.2106E-01	0.2537E-01	0.2939E-01	0.3315E-01	0.3666E-01	0.3995E-01
K=4	1.50	0.5012E-02	0.8469E-02	0.1114E-01	0.1332E-01	0.1516E-01	0.1674E-01	0.1812E-01	0.1932E-01	0.2039E-01
K=5	2.00	0.4215E-02	0.6424E-02	0.7862E-02	0.8895E-02	0.9681E-02	0.1030E-01	0.1080E-01	0.1121E-01	0.1156E-01
I=3										
K=0	0.00	0.8319E-02	0.1936E-01	0.3211E-01	0.4598E-01	0.6060E-01	0.7572E-01	0.9117E-01	0.1068E 00	0.1225E 00
K=1	.30	0.7367E-02	0.1576E-01	0.2452E-01	0.3336E-01	0.4213E-01	0.5075E-01	0.5919E-01	0.6743E-01	0.7545E-01
K=2	.60	0.6548E-02	0.1293E-01	0.1896E-01	0.2459E-01	0.2985E-01	0.3477E-01	0.3939E-01	0.4372E-01	0.4780E-01
K=3	1.00	0.5627E-02	0.1007E-01	0.1373E-01	0.1682E-01	0.1949E-01	0.2182E-01	0.2388E-01	0.2572E-01	0.2738E-01
K=4	1.50	0.4700E-02	0.7539E-02	0.9504E-02	0.1096E-01	0.1210E-01	0.1302E-01	0.1377E-01	0.1440E-01	0.1494E-01
K=5	2.00	0.3970E-02	0.5768E-02	0.6845E-02	0.7537E-02	0.8024E-02	0.8384E-02	0.8659E-02	0.8877E-02	0.9052E-02

M, RP(M) = 2, .0175 . L, T(L) = 2, 75000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)-M.L = B = 2.2

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
	SØLAR WIND EXPNT									
I=1	2.0	0.2640E 05	0.7041E 05	0.1320E 06	0.2112E 06	0.3081E 06	0.4225E 06	0.5546E 06	0.7043E 06	0.8715E 06
I=2	1.5	0.2472E 05	0.6240E 05	0.1117E 06	0.1716E 06	0.2416E 06	0.3209E 06	0.4091E 06	0.5058E 06	0.6106E 06
I=3	1.0	0.2289E 05	0.5359E 05	0.8947E 05	0.1290E 06	0.1713E 06	0.2158E 06	0.2620E 06	0.3096E 06	0.3584E 06

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	[illegible]	0.2165E 00	0.4783E 00	0.7048E 00	0.8580E 00	0.9420E 00	0.9798E 00	0.9940E 00	0.9985E 00	0.9996E 00
K=1	.30	0.1917E 00	0.3911E 00	0.5472E 00	0.6451E 00	0.6956E 00	0.7173E 00	0.7251E 00	0.7274E 00	0.7280E 00
K=2	.60	0.1703E 00	0.3224E 00	0.4300E 00	0.4926E 00	0.5230E 00	0.5354E 00	0.5397E 00	0.5409E 00	0.5412E 00
K=3	1.00	0.1463E 00	0.2524E 00	0.3180E 00	0.3525E 00	0.3680E 00	0.3739E 00	0.3758E 00	0.3764E 00	0.3765E 00
K=4	1.50	0.1221E 00	0.1900E 00	0.2254E 00	0.2418E 00	0.2485E 00	0.2508E 00	0.2515E 00	0.2517E 00	0.2517E 00
K=5	2.00	0.1030E 00	0.1466E 00	0.1658E 00	0.1736E 00	0.1764E 00	0.1774E 00	0.1776E 00	0.1777E 00	0.1777E 00
I=2										
K=0	[illegible]	0.2042E 00	0.4383E 00	0.6438E 00	0.7953E 00	0.8927E 00	0.9484E 00	0.9772E 00	0.9906E 00	0.9964E 00
K=1	.30	0.1811E 00	0.3594E 00	0.5010E 00	0.5978E 00	0.6563E 00	0.6882E 00	0.7039E 00	0.7110E 00	0.7140E 00
K=2	.60	0.1612E 00	0.2972E 00	0.3947E 00	0.4566E 00	0.4918E 00	0.5100E 00	0.5186E 00	0.5224E 00	0.5239E 00
K=3	1.00	0.1387E 00	0.2337E 00	0.2931E 00	0.3272E 00	0.3451E 00	0.3537E 00	0.3576E 00	0.3592E 00	0.3598E 00
K=4	1.50	0.1161E 00	0.1769E 00	0.2090E 00	0.2252E 00	0.2328E 00	0.2363E 00	0.2377E 00	0.2382E 00	0.2384E 00
K=5	2.00	0.9834E-01	0.1374E 00	0.1547E 00	0.1624E 00	0.1657E 00	0.1670E 00	0.1675E 00	0.1677E 00	0.1678E 00
I=3										
K=0	0.00	0.1907E 00	0.3906E 00	0.5626E 00	0.6965E 00	0.7948E 00	0.8639E 00	0.9112E 00	0.9428E 00	0.9635E 00
K=1	.30	0.1694E 00	0.3218E 00	0.4402E 00	0.5258E 00	0.5848E 00	0.6243E 00	0.6502E 00	0.6668E 00	0.6774E 00
K=2	.60	0.1511E 00	0.2674E 00	0.3490E 00	0.4036E 00	0.4391E 00	0.4617E 00	0.4758E 00	0.4846E 00	0.4900E 00
K=3	1.00	0.1305E 00	0.2117E 00	0.2614E 00	0.2915E 00	0.3095E 00	0.3202E 00	0.3266E 00	0.3303E 00	0.3325E 00
K=4	1.50	0.1096E 00	0.1617E 00	0.1885E 00	0.2028E 00	0.2105E 00	0.2147E 00	0.2170E 00	0.2183E 00	0.2190E 00
K=5	2.00	0.9319E-01	0.1267E 00	0.1471E 00	0.1479E 00	0.1512E 00	0.1529E 00	0.1537E 00	0.1542E 00	0.1544E 00

M, RP(M) = 3, .0350 . L, T(L) = 1, 1900000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)-M L = B = 3.1

G(X) = TIME (YEARS) FROM X TO 1 A.U.

	X (A.U.) = SOLAR WIND EXPNT	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1	2.0	0.5281E 05	0.1408E 06	0.2640E 06	0.4225E 06	0.6162E 06	0.8451E 06	0.1109E 07	0.1408E 07	0.1743E 07
I=2	1.5	0.4944E 05	0.1248E 06	0.2234E 06	0.3433E 06	0.4832E 06	0.6418E 06	0.8182E 06	0.1011E 07	0.1221E 07
I=3	1.0	0.4579E 05	0.1072E 06	0.1789E 06	0.2580E 06	0.3427E 06	0.4317E 06	0.5241E 06	0.6193E 06	0.7168E 06

INTEGRAL = NON-EQUILIBRIUM FACTOR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	0.00	0.1908E-01	0.5008E-01	0.9184E-01	0.1428E 00	0.2013E 00	0.2653E 00	0.3328E 00	0.4018E 00	0.4705E 00
K=1	.30	0.1683E-01	0.4035E-01	0.6902E-01	0.1015E 00	0.1365E 00	0.1730E 00	0.2099E 00	0.2462E 00	0.2812E 00
K=2	.60	0.1490E-01	0.3277E-01	0.5246E-01	0.7315E-01	0.9418E-01	0.1150E 00	0.1351E 00	0.1542E 00	0.1721E 00
K=3	1.00	0.1273E-01	0.2514E-01	0.3709E-01	0.4844E-01	0.5908E-01	0.6893E-01	0.7794E-01	0.8607E-01	0.9331E-01
K=4	1.50	0.1056E-01	0.1845E-01	0.2486E-01	0.3022E-01	0.3476E-01	0.3863E-01	0.4193E-01	0.4472E-01	0.4707E-01
K=5	2.00	0.8853E-02	0.1389E-01	0.1733E-01	0.1986E-01	0.2181E-01	0.2333E-01	0.2453E-01	0.2549E-01	0.2625E-01
I=2										
K=0	0.00	0.1787E-01	0.4451E-01	0.7827E-01	0.1177E 00	0.1616E 00	0.2087E 00	0.2580E 00	0.3086E 00	0.3595E 00
K=1	.30	0.1579E-01	0.3602E-01	0.5920E-01	0.8434E-01	0.1106E 00	0.1375E 00	0.1644E 00	0.1911E 00	0.2170E 00
K=2	.60	0.1401E-01	0.2939E-01	0.4531E-01	0.6133E-01	0.7711E-01	0.9245E-01	0.1071E 00	0.1211E 00	0.1343E 00
K=3	1.00	0.1200E-01	0.2269E-01	0.3236E-01	0.4114E-01	0.4913E-01	0.5639E-01	0.6298E-01	0.6893E-01	0.7429E-01
K=4	1.50	0.9987E-02	0.1679E-01	0.2198E-01	0.2613E-01	0.2954E-01	0.3240E-01	0.3480E-01	0.3685E-01	0.3859E-01
K=5	2.00	0.8402E-02	0.1275E-01	0.1554E-01	0.1750E-01	0.1896E-01	0.2008E-01	0.2096E-01	0.2166E-01	0.2223E-01
I=3										
K=0	0.00	0.1656E-01	0.3835E-01	0.6319E-01	0.8985E-01	0.1175E 00	0.1457E 00	0.1740E 00	0.2022E 00	0.2301E 00
K=1	.30	0.1467E-01	0.3123E-01	0.4831E-01	0.6529E-01	0.8190E-01	0.9797E-01	0.1134E 00	0.1282E 00	0.1424E 00
K=2	.60	0.1304E-01	0.2565E-01	0.3739E-01	0.4821E-01	0.5818E-01	0.6735E-01	0.7581E-01	0.8362E-01	0.9085E-01
K=3	1.00	0.1121E-01	0.1999E-01	0.2712E-01	0.3306E-01	0.3811E-01	0.4245E-01	0.4623E-01	0.4955E-01	0.5249E-01
K=4	1.50	0.9369E-02	0.1497E-01	0.1880E-01	0.2161E-01	0.2376E-01	0.2547E-01	0.2685E-01	0.2799E-01	0.2895E-01
K=5	2.00	0.7915E-02	0.1150E-01	0.1356E-01	0.1489E-01	0.1581E-01	0.1648E-01	0.1699E-01	0.1738E-01	0.1769E-01

M, RP(M) = 3, .0350 . L, T(L) = 2, 75000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)=M L = B = 3.2

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
	SØLAR WIND EXPNT									
I=1	2.0	0.5281E 05	0.1408E 06	0.2640E 06	0.4225E 06	0.6162E 06	0.8451E 06	0.1109E 07	0.1408E 07	0.1743E 07
I=2	1.5	0.4944E 05	0.1248E 06	0.2234E 06	0.3433E 06	0.4832E 06	0.6418E 06	0.8182E 06	0.1011E 07	0.1221E 07
I=3	1.0	0.4579E 05	0.1072E 06	0.1789E 06	0.2580E 06	0.3427E 06	0.4317E 06	0.5241E 06	0.6193E 06	0.7168E 06

INTEGRAL = NØN=EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	0.00	0.3861E 00	0.7279E 00	0.9129E 00	0.9798E 00	0.9966E 00	0.9995E 00	0.9999E 00	0.1000E 01	0.1000E 01
K=1	.30	0.3434E 00	0.6046E 00	0.7326E 00	0.7755E 00	0.7857E 00	0.7874E 00	0.7876E 00	0.7876E 00	0.7876E 00
K=2	.60	0.3063E 00	0.5063E 00	0.5949E 00	0.6224E 00	0.6286E 00	0.6296E 00	0.6297E 00	0.6297E 00	0.6297E 00
K=3	1.00	0.2645E 00	0.4049E 00	0.4591E 00	0.4744E 00	0.4775E 00	0.4780E 00	0.4781E 00	0.4781E 00	0.4781E 00
K=4	1.50	0.2222E 00	0.3127E 00	0.3422E 00	0.3495E 00	0.3508E 00	0.3510E 00	0.3511E 00	0.3511E 00	0.3511E 00
K=5	2.00	0.1888E 00	0.2473E 00	0.2634E 00	0.2669E 00	0.2675E 00	0.2675E 00	0.2675E 00	0.2675E 00	0.2675E 00
I=2										
K=0	0.00	0.3667E 00	0.6844E 00	0.8731E 00	0.9581E 00	0.9885E 00	0.9973E 00	0.9994E 00	0.9999E 00	0.9999E 00
K=1	.30	0.3265E 00	0.5693E 00	0.6997E 00	0.7541E 00	0.7724E 00	0.7775E 00	0.7787E 00	0.7789E 00	0.7789E 00
K=2	.60	0.2916E 00	0.4775E 00	0.5676E 00	0.6025E 00	0.6136E 00	0.6165E 00	0.6171E 00	0.6172E 00	0.6173E 00
K=3	1.00	0.2523E 00	0.3827E 00	0.4379E 00	0.4572E 00	0.4628E 00	0.4642E 00	0.4645E 00	0.4645E 00	0.4645E 00
K=4	1.50	0.2126E 00	0.2966E 00	0.3265E 00	0.3357E 00	0.3381E 00	0.3387E 00	0.3388E 00	0.3388E 00	0.3388E 00
K=5	2.00	0.1812E 00	0.2354E 00	0.2517E 00	0.2561E 00	0.2571E 00	0.2574E 00	0.2574E 00	0.2574E 00	0.2574E 00
I=3										
K=0	0.00	0.3450E 00	0.6286E 00	0.8086E 00	0.9079E 00	0.9579E 00	0.9815E 00	0.9921E 00	0.9967E 00	0.9986E 00
K=1	.30	0.3077E 00	0.5244E 00	0.6487E 00	0.7121E 00	0.7422E 00	0.7557E 00	0.7615E 00	0.7640E 00	0.7650E 00
K=2	.60	0.2753E 00	0.4412E 00	0.5271E 00	0.5677E 00	0.5858E 00	0.5935E 00	0.5967E 00	0.5980E 00	0.5985E 00
K=3	1.00	0.2389E 00	0.3552E 00	0.4077E 00	0.4301E 00	0.4393E 00	0.4430E 00	0.4444E 00	0.4450E 00	0.4452E 00
K=4	1.50	0.2019E 00	0.2769E 00	0.3053E 00	0.3160E 00	0.3199E 00	0.3214E 00	0.3219E 00	0.3221E 00	0.3222E 00
K=5	2.00	0.1727E 00	0.2212E 00	0.2366E 00	0.2416E 00	0.2433E 00	0.2439E 00	0.2441E 00	0.2442E 00	0.2442E 00

M, RP(M) = 4, .0700 . L, T(L) = 1, 1900000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)=M L = B = 4.1

G(X) = TIME (YEARS) FROM X TO 1 A.U.

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
	SOLAR WIND EXPNT									
I=1	2.0	0.1056E 06	0.2816E 06	0.5281E 06	0.8451E 06	0.1232E 07	0.1690E 07	0.2218E 07	0.2817E 07	0.3486E 07
I=2	1.5	0.9888E 05	0.2496E 06	0.4468E 06	0.6867E 06	0.9664E 06	0.1283E 07	0.1636E 07	0.2023E 07	0.2442E 07
I=3	1.0	0.9159E 05	0.2143E 06	0.3579E 06	0.5161E 06	0.6855E 06	0.8634E 06	0.1048E 07	0.1238E 07	0.1433E 07

INTEGRAL = NON-EQUILIBRIUM FACTOR

	S.E.P. EXPNT									
	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	0.00	0.3779E-01	0.9765E-01	0.1752E 00	0.2653E 00	0.3621E 00	0.4602E 00	0.5548E 00	0.6421E 00	0.7196E 00
K=	.30	0.3335E-01	0.7879E-01	0.1320E 00	0.1894E 00	0.2475E 00	0.3035E 00	0.3552E 00	0.4012E 00	0.4406E 00
K=2	.60	0.2953E-01	0.6406E-01	0.1006E 00	0.1372E 00	0.1720E 00	0.2040E 00	0.2323E 00	0.2565E 00	0.2766E 00
K=3	1.00	0.2525E-01	0.4924E-01	0.7146E-01	0.9152E-01	0.1091E 00	0.1242E 00	0.1369E 00	0.1472E 00	0.1554E 00
K=4	1.50	0.2095E-01	0.3622E-01	0.4814E-01	0.5762E-01	0.6516E-01	0.7110E-01	0.7572E-01	0.7926E-01	0.8192E-01
K=5	2.00	0.1757E-01	0.2732E-01	0.3373E-01	0.3821E-01	0.4144E-01	0.4377E-01	0.4547E-01	0.4668E-01	0.4754E-01
I=2										
K=0	0.00	0.3543E-01	0.8704E-01	0.1504E 00	0.2216E 00	0.2971E 00	0.3739E 00	0.4495E 00	0.5219E 00	0.5898E 00
K=	.30	0.3132E-01	0.7052E-01	0.1140E 00	0.1594E 00	0.2047E 00	0.2485E 00	0.2898E 00	0.3279E 00	0.3625E 00
K=2	.60	0.2778E-01	0.5760E-01	0.8752E-01	0.1164E 00	0.1436E 00	0.1686E 00	0.1912E 00	0.2112E 00	0.2288E 00
K=3	1.00	0.2381E-01	0.4455E-01	0.6271E-01	0.7857E-01	0.9233E-01	0.1041E 00	0.1142E 00	0.1228E 00	0.1299E 00
K=4	1.50	0.1982E-01	0.3304E-01	0.4279E-01	0.5028E-01	0.5616E-01	0.6082E-01	0.6451E-01	0.6744E-01	0.6976E-01
K=5	2.00	0.1668E-01	0.2513E-01	0.3038E-01	0.3392E-01	0.3644E-01	0.3827E-01	0.3962E-01	0.4063E-01	0.4138E-01
I=3										
K=0	0.00	0.3286E-01	0.7523E-01	0.1224E 00	0.1716E 00	0.2212E 00	0.2702E 00	0.3177E 00	0.3635E 00	0.4072E 00
K=	.30	0.2911E-01	0.6133E-01	0.9375E-01	0.1251E 00	0.1549E 00	0.1828E 00	0.2088E 00	0.2329E 00	0.2551E 00
K=2	.60	0.2588E-01	0.5042E-01	0.7271E-01	0.9272E-01	0.1105E 00	0.1265E 00	0.1407E 00	0.1534E 00	0.1647E 00
K=3	1.00	0.2226E-01	0.3934E-01	0.5289E-01	0.6387E-01	0.7292E-01	0.8047E-01	0.8682E-01	0.9222E-01	0.9683E-01
K=4	1.50	0.1860E-01	0.2951E-01	0.3679E-01	0.4199E-01	0.4586E-01	0.4882E-01	0.5115E-01	0.5300E-01	0.5449E-01
K=5	2.00	0.1573E-01	0.2272E-01	0.2663E-01	0.2909E-01	0.3075E-01	0.3191E-01	0.3276E-01	0.3340E-01	0.3389E-01

M, RP(M) = 4, .0700 . L, T(L) = 2, 75000. . JJ, H = 15, .25 . (A,B)-M L = B = 4.2

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
	SØLAR WIND EXPNT							
I=1	2.0	0.4400E 05	0.1056E 06	0.1848E 06	0.2816E 06	0.3961E 06	0.5281E 06	0.6778E 06
I=2	1.5	0.4251E 05	0.9888E 05	0.1681E 06	0.2496E 06	0.3426E 06	0.4468E 06	0.5616E 06
I=3	1.0	0.4094E 05	0.9159E 05	0.1499E 06	0.2143E 06	0.2840E 06	0.3579E 06	0.4354E 06

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00	4.50
I=1								
K=0	0.00	0.3341E 00	0.6232E 00	0.8188E 00	0.9259E 00	0.9742E 00	0.9924E 00	0.9981E 00
K=1	.30	0.3133E 00	0.5585E 00	0.7124E 00	0.7918E 00	0.8259E 00	0.8381E 00	0.8418E 00
K=2	.60	0.2941E 00	0.5023E 00	0.6234E 00	0.6823E 00	0.7063E 00	0.7145E 00	0.7169E 00
K=3	1.00	0.2709E 00	0.4383E 00	0.5264E 00	0.5659E 00	0.5810E 00	0.5859E 00	0.5873E 00
K=4	1.50	0.2452E 00	0.3730E 00	0.4322E 00	0.4562E 00	0.4646E 00	0.4672E 00	0.4678E 00
K=5	2.00	0.2228E 00	0.3204E 00	0.3603E 00	0.3749E 00	0.3796E 00	0.3809E 00	0.3812E 00
I=2								
K=0	0.00	0.3249E 00	0.5990E 00	0.7886E 00	0.9004E 00	0.9578E 00	0.9839E 00	0.9944E 00
K=1	.30	0.3048E 00	0.5373E 00	0.6864E 00	0.7693E 00	0.8097E 00	0.8273E 00	0.8341E 00
K=2	.60	0.2863E 00	0.4836E 00	0.6010E 00	0.6624E 00	0.6909E 00	0.7027E 00	0.7072E 00
K=3	1.00	0.2639E 00	0.4226E 00	0.5080E 00	0.5491E 00	0.5670E 00	0.5740E 00	0.5765E 00
K=4	1.50	0.2390E 00	0.3602E 00	0.4175E 00	0.4425E 00	0.4525E 00	0.4561E 00	0.4574E 00
K=5	2.00	0.2173E 00	0.3099E 00	0.3485E 00	0.3637E 00	0.3693E 00	0.3712E 00	0.3718E 00
I=3								
K=0	0.00	0.3150E 00	0.5710E 00	0.7497E 00	0.8621E 00	0.9275E 00	0.9634E 00	0.9821E 00
K=1	.30	0.2957E 00	0.5129E 00	0.6534E 00	0.7366E 00	0.7827E 00	0.8068E 00	0.8190E 00
K=2	.60	0.2779E 00	0.4623E 00	0.5729E 00	0.6345E 00	0.6669E 00	0.6832E 00	0.6911E 00
K=3	1.00	0.2563E 00	0.4047E 00	0.4851E 00	0.5263E 00	0.5467E 00	0.5563E 00	0.5607E 00
K=4	1.50	0.2325E 00	0.3457E 00	0.3997E 00	0.4247E 00	0.4361E 00	0.4411E 00	0.4432E 00
K=5	2.00	0.2116E 00	0.2982E 00	0.3345E 00	0.3497E 00	0.3560E 00	0.3586E 00	0.3596E 00

M, RP(M) = 5, .1050 . L, T(L) = 1, 1900000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)=M L = B = 5.1

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
	SØLAR WIND EXPNT									
I=1	2.0	0.1584E 06	0.4225E 06	0.7922E 06	0.1267E 07	0.1848E 07	0.2535E 07	0.3327E 07	0.4225E 07	0.5229E 07
I=2	1.5	0.1483E 06	0.3744E 06	0.6702E 06	0.1030E 07	0.1449E 07	0.1925E 07	0.2454E 07	0.3034E 07	0.3663E 07
I=3	1.0	0.1373E 06	0.3215E 06	0.5368E 06	0.7742E 06	0.1028E 07	0.1295E 07	0.1572E 07	0.1857E 07	0.2150E 07

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	0.00	0.5615E-01	0.1428E 00	0.2510E 00	0.3702E 00	0.4905E 00	0.6034E 00	0.7030E 00	0.7859E 00	0.8515E 00
K=1	.30	0.4957E-01	0.1154E 00	0.1896E 00	0.2656E 00	0.3378E 00	0.4023E 00	0.4567E 00	0.5004E 00	0.5338E 00
K=2	.60	0.4391E-01	0.9395E-01	0.1450E 00	0.1934E 00	0.2367E 00	0.2735E 00	0.3033E 00	0.3263E 00	0.3433E 00
K=3	1.00	0.3755E-01	0.7234E-01	0.1033E 00	0.1299E 00	0.1518E 00	0.1693E 00	0.1826E 00	0.1924E 00	0.1993E 00
K=4	1.50	0.3118E-01	0.5333E-01	0.6997E-01	0.8254E-01	0.9192E-01	0.9877E-01	0.1036E 00	0.1070E 00	0.1092E 00
K=5	2.00	0.2616E-01	0.4032E-01	0.4927E-01	0.5522E-01	0.5923E-01	0.6193E-01	0.6371E-01	0.6487E-01	0.6560E-01
I=2										
K=0	.00	0.5267E-01	0.1276E 00	0.2169E 00	0.3132E 00	0.4107E 00	0.5046E 00	0.5915E 00	0.6695E 00	0.7372E 00
K=1	.30	0.4657E-01	0.1035E 00	0.1648E 00	0.2262E 00	0.2847E 00	0.3383E 00	0.3858E 00	0.4269E 00	0.4614E 00
K=2	.60	0.4133E-01	0.8468E-01	0.1268E 00	0.1659E 00	0.2010E 00	0.2316E 00	0.2576E 00	0.2792E 00	0.2968E 00
K=3	1.00	0.3544E-01	0.6560E-01	0.9120E-01	0.1126E 00	0.1304E 00	0.1449E 00	0.1565E 00	0.1657E 00	0.1729E 00
K=4	1.50	0.2952E-01	0.4875E-01	0.6249E-01	0.7265E-01	0.8025E-01	0.8594E-01	0.9020E-01	0.9335E-01	0.9568E-01
K=5	2.00	0.2486E-01	0.3716E-01	0.4455E-01	0.4936E-01	0.5261E-01	0.5485E-01	0.5641E-01	0.5749E-01	0.5825E-01
I=3										
K=0	.00	0.4888E-01	0.1107E 00	0.1778E 00	0.2460E 00	0.3127E 00	0.3765E 00	0.4365E 00	0.4922E 00	0.5436E 00
K=1	.30	0.4332E-01	0.9034E-01	0.1365E 00	0.1799E 00	0.2200E 00	0.2564E 00	0.2891E 00	0.3185E 00	0.3447E 00
K=2	.60	0.3853E-01	0.7433E-01	0.1061E 00	0.1338E 00	0.1578E 00	0.1786E 00	0.1965E 00	0.2119E 00	0.2253E 00
K=3	1.00	0.3314E-01	0.5809E-01	0.7739E-01	0.9262E-01	0.1047E 00	0.1146E 00	0.1226E 00	0.1292E 00	0.1346E 00
K=4	1.50	0.2772E-01	0.4365E-01	0.5403E-01	0.6123E-01	0.6643E-01	0.7030E-01	0.7323E-01	0.7549E-01	0.7725E-01
K=5	2.00	0.2344E-01	0.3365E-01	0.3924E-01	0.4265E-01	0.4488E-01	0.4640E-01	0.4747E-01	0.4825E-01	0.4882E-01

M, RP(M) = 5, .1050 . L, T(L) = 2, 75000. . JJ, H = 13, .25 . (A,B)-M L = B = 5.2

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

SØLAR WIND EXPNT	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
I=1	2.0	0.6600E 05	0.1584E 06	0.2772E 06	0.4225E 06	0.5941E 06	0.7922E 06
I=2	1.5	0.6377E 05	0.1483E 06	0.2522E 06	0.3744E 06	0.5140E 06	0.6702E 06
I=3	1.0	0.6141E 05	0.1373E 06	0.2248E 06	0.3215E 06	0.4260E 06	0.5368E 06

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
I=1							
K=0	0.00	0.4566E 00	0.7687E 00	0.9228E 00	0.9798E 00	0.9958E 00	0.9993E 00
K=1	.30	0.4290E 00	0.6942E 00	0.8158E 00	0.8581E 00	0.8694E 00	0.8717E 00
K=2	.60	0.4036E 00	0.6292E 00	0.7250E 00	0.7564E 00	0.7644E 00	0.7660E 00
K=3	1.00	0.3727E 00	0.5547E 00	0.6246E 00	0.6457E 00	0.6507E 00	0.6517E 00
K=4	1.50	0.3385E 00	0.4778E 00	0.5249E 00	0.5378E 00	0.5407E 00	0.5411E 00
K=5	2.00	0.3086E 00	0.4154E 00	0.4472E 00	0.4551E 00	0.4567E 00	0.4569E 00
I=2							
K=0	0.00	0.4453E 00	0.7461E 00	0.9028E 00	0.9685E 00	0.9913E 00	0.9979E 00
K=1	.30	0.4185E 00	0.6741E 00	0.7976E 00	0.8464E 00	0.8625E 00	0.8669E 00
K=2	.60	0.3939E 00	0.6172E 00	0.7086E 00	0.7448E 00	0.7561E 00	0.7592E 00
K=3	1.00	0.3640E 00	0.5393E 00	0.6102E 00	0.6345E 00	0.6417E 00	0.6435E 00
K=4	1.50	0.3309E 00	0.4650E 00	0.5128E 00	0.5276E 00	0.5316E 00	0.5326E 00
K=5	2.00	0.3018E 00	0.4047E 00	0.4369E 00	0.4460E 00	0.4482E 00	0.4487E 00
I=3							
K=0	0.00	0.4331E 00	0.7191E 00	0.8748E 00	0.9488E 00	0.9804E 00	0.9930E 00
K=1	.30	0.4073E 00	0.6502E 00	0.7729E 00	0.8277E 00	0.8501E 00	0.8585E 00
K=2	.60	0.3835E 00	0.5901E 00	0.6868E 00	0.7274E 00	0.7432E 00	0.7489E 00
K=3	1.00	0.3546E 00	0.5272E 00	0.5916E 00	0.6189E 00	0.6288E 00	0.6322E 00
K=4	1.50	0.3226E 00	0.4502E 00	0.4976E 00	0.5142E 00	0.5197E 00	0.5214E 00
K=5	2.00	0.2946E 00	0.3924E 00	0.4243E 00	0.4344E 00	0.4375E 00	0.4384E 00

M, RP(M) = 6, .1400 . L, T(L) = 1, 1900000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)=M L = B = 6.1

G(X) = TIME (YEARS) FROM X TO 1 A.U.

	X (A.U.) = SOLAR WIND EXPNT	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1	2.0	0.2112E 06	0.5633E 06	0.1056E 07	0.1690E 07	0.2464E 07	0.3380E 07	0.4437E 07	0.5634E 07	0.6972E 07
I=2	1.5	0.1977E 06	0.4992E 06	0.8936E 06	0.1373E 07	0.1932E 07	0.2567E 07	0.3272E 07	0.4046E 07	0.4885E 07
I=3	1.0	0.1831E 06	0.4287E 06	0.7158E 06	0.1032E 07	0.1371E 07	0.1726E 07	0.2096E 07	0.2477E 07	0.2867E 07

INTEGRAL = NON-EQUILIBRIUM FACTOR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	0.00	0.7416E-01	0.1857E 00	0.3198E 00	0.4602E 00	0.5931E 00	0.7086E 00	0.8018E 00	0.8719E 00	0.9214E 00
K=1	.50	0.6549E-01	0.1502E 00	0.2423E 00	0.3318E 00	0.4116E 00	0.4776E 00	0.5285E 00	0.5655E 00	0.5907E 00
K=2	1.00	0.5803E-01	0.1225E 00	0.1858E 00	0.2428E 00	0.2907E 00	0.3284E 00	0.3563E 00	0.3757E 00	0.3886E 00
K=3	1.50	0.4965E-01	0.9449E-01	0.1329E 00	0.1642E 00	0.1885E 00	0.2064E 00	0.2188E 00	0.2271E 00	0.2324E 00
K=4	1.75	0.4124E-01	0.6981E-01	0.9046E-01	0.1052E 00	0.1156E 00	0.1227E 00	0.1272E 00	0.1301E 00	0.1318E 00
K=5	2.00	0.3463E-01	0.5289E-01	0.6401E-01	0.7103E-01	0.7547E-01	0.7824E-01	0.7991E-01	0.8089E-01	0.8144E-01
I=2										
K=0	0.00	0.6960E-01	0.1665E 00	0.2782E 00	0.3941E 00	0.5059E 00	0.6080E 00	0.6969E 00	0.7714E 00	0.8317E 00
K=1	.50	0.6157E-01	0.1352E 00	0.2119E 00	0.2858E 00	0.3529E 00	0.4112E 00	0.4598E 00	0.4991E 00	0.5298E 00
K=2	1.00	0.5465E-01	0.1107E 00	0.1634E 00	0.2105E 00	0.2508E 00	0.2841E 00	0.3107E 00	0.3314E 00	0.3470E 00
K=3	1.50	0.4688E-01	0.8589E-01	0.1179E 00	0.1438E 00	0.1642E 00	0.1799E 00	0.1918E 00	0.2006E 00	0.2070E 00
K=4	1.75	0.3907E-01	0.6394E-01	0.8117E-01	0.9341E-01	0.1021E 00	0.1083E 00	0.1126E 00	0.1157E 00	0.1177E 00
K=5	2.00	0.3292E-01	0.4884E-01	0.5811E-01	0.6391E-01	0.6764E-01	0.7008E-01	0.7167E-01	0.7271E-01	0.7339E-01
I=3										
K=0	0.00	0.6464E-01	0.1448E 00	0.2298E 00	0.3138E 00	0.3935E 00	0.4673E 00	0.5345E 00	0.5949E 00	0.6486E 00
K=1	.50	0.5730E-01	0.1182E 00	0.1767E 00	0.2302E 00	0.2781E 00	0.3202E 00	0.3570E 00	0.3888E 00	0.4161E 00
K=2	1.00	0.5098E-01	0.9743E-01	0.1376E 00	0.1718E 00	0.2005E 00	0.2245E 00	0.2446E 00	0.2614E 00	0.2753E 00
K=3	1.50	0.4387E-01	0.7624E-01	0.1007E 00	0.1194E 00	0.1340E 00	0.1454E 00	0.1543E 00	0.1615E 00	0.1671E 00
K=4	1.75	0.3671E-01	0.5739E-01	0.7054E-01	0.7941E-01	0.8564E-01	0.9012E-01	0.9340E-01	0.9585E-01	0.9769E-01
K=5	2.00	0.3106E-01	0.4432E-01	0.5140E-01	0.5561E-01	0.5827E-01	0.6003E-01	0.6124E-01	0.6208E-01	0.6267E-01

M, RP(M) = 6, .1400 . L, T(L) = 2, 75000. . JJ, H = 13, .25 . (A,B)=M L = B = 6.2

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

SØLAR WIND EXPNT	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
I=1	2.0	0.8801E 05	0.2172E 06	0.3696E 06	0.5633E 06	0.7922E 06	0.1056E 07
I=2	1.5	0.8503E 05	0.1977E 06	0.3363E 06	0.4992E 06	0.6853E 06	0.8936E 06
I=3	1.0	0.8189E 05	0.1831E 06	0.2997E 06	0.4287E 06	0.5680E 06	0.7158E 06

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.C.P. EXPNT

	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
I=1							
K=0	0.00	0.5566E 00	0.8580E 00	0.9671E 00	0.9945E 00	0.9993E 00	0.9999E 00
K=1	.30	0.5240E 00	0.7806E 00	0.8668E 00	0.8871E 00	0.8905E 00	0.8909E 00
K=2	.60	0.4939E 00	0.7125E 00	0.7807E 00	0.7958E 00	0.7982E 00	0.7985E 00
K=3	1.00	0.4573E 00	0.6342E 00	0.6840E 00	0.6942E 00	0.6957E 00	0.6959E 00
K=4	1.30	0.4167E 00	0.5526E 00	0.5863E 00	0.5925E 00	0.5934E 00	0.5935E 00
K=5	2.00	0.3811E 00	0.4857E 00	0.5085E 00	0.5123E 00	0.5128E 00	0.5128E 00
I=2							
K=0	0.00	0.5442E 00	0.8392E 00	0.9553E 00	0.9900E 00	0.9982E 00	0.9997E 00
K=1	.30	0.5125E 00	0.7635E 00	0.8552E 00	0.8810E 00	0.8868E 00	0.8878E 00
K=2	.60	0.4832E 00	0.6971E 00	0.7695E 00	0.7887E 00	0.7928E 00	0.7935E 00
K=3	1.00	0.4477E 00	0.6206E 00	0.6735E 00	0.6864E 00	0.6890E 00	0.6894E 00
K=4	1.30	0.4083E 00	0.5410E 00	0.5768E 00	0.5847E 00	0.5861E 00	0.5863E 00
K=5	2.00	0.3737E 00	0.4758E 00	0.5000E 00	0.5048E 00	0.5056E 00	0.5057E 00
I=3							
K=0	0.00	0.5308E 00	0.8160E 00	0.9373E 00	0.9809E 00	0.9947E 00	0.9986E 00
K=1	.30	0.5000E 00	0.7427E 00	0.8384E 00	0.8708E 00	0.8805E 00	0.8832E 00
K=2	.60	0.4717E 00	0.6784E 00	0.7540E 00	0.7780E 00	0.7849E 00	0.7867E 00
K=3	1.00	0.4373E 00	0.6044E 00	0.6595E 00	0.6757E 00	0.6800E 00	0.6811E 00
K=4	1.30	0.3991E 00	0.5274E 00	0.5646E 00	0.5744E 00	0.5769E 00	0.5774E 00
K=5	2.00	0.3656E 00	0.4642E 00	0.4894E 00	0.4954E 00	0.4967E 00	0.4970E 00

M, RP(M) = 7, .1750 . L, T(L) = 1, 1900000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)=M L = B = 7.1

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X TØ 1 A.U.

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
	SØLAR WIND EXPNT									
I=1	2.0	0.2640E 06	0.7041E 06	0.1320E 07	0.2112E 07	0.3081E 07	0.4225E 07	0.5546E 07	0.7042E 07	0.8715E 07
I=2	1.5	0.2472E 06	0.6240E 06	0.1117E 07	0.1716E 07	0.2416E 07	0.3209E 07	0.4091E 07	0.5058E 07	0.6106E 07
I=3	1.0	0.2289E 06	0.5359E 06	0.8947E 06	0.1290E 07	0.1713E 07	0.2158E 07	0.2620E 07	0.3096E 07	0.3584E 07

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	0.00	0.9183E-01	0.2265E 00	0.3822E 00	0.5373E 00	0.6750E 00	0.7859E 00	0.8677E 00	0.9234E 00	0.9584E 00
K=1	.30	0.8112E-01	0.1834E 00	0.2905E 00	0.3893E 00	0.4720E 00	0.5354E 00	0.5801E 00	0.6095E 00	0.6273E 00
K=2	.60	0.7189E-01	0.1497E 00	0.2233E 00	0.2864E 00	0.3360E 00	0.3722E 00	0.3967E 00	0.4122E 00	0.4213E 00
K=3	1.00	0.6155E-01	0.1157E 00	0.1604E 00	0.1951E 00	0.2202E 00	0.2374E 00	0.2484E 00	0.2549E 00	0.2586E 00
K=4	1.50	0.5115E-01	0.8569E-01	0.1097E 00	0.1261E 00	0.1369E 00	0.1436E 00	0.1476E 00	0.1499E 00	0.1511E 00
K=5	2.00	0.4298E-01	0.6507E-01	0.7801E-01	0.8578E-01	0.9039E-01	0.9305E-01	0.9452E-01	0.9530E-01	0.9569E-01
I=2										
K=0	0.00	0.8623E-01	0.2036E 00	0.3347E 00	0.4654E 00	0.5857E 00	0.6898E 00	0.7751E 00	0.8420E 00	0.8922E 00
K=1	.30	0.7630E-01	0.1655E 00	0.2556E 00	0.3390E 00	0.4112E 00	0.4706E 00	0.5173E 00	0.5525E 00	0.5781E 00
K=2	.60	0.6775E-01	0.1356E 00	0.1976E 00	0.2508E 00	0.2941E 00	0.3281E 00	0.3536E 00	0.3721E 00	0.3852E 00
K=3	1.00	0.5814E-01	0.1054E 00	0.1431E 00	0.1723E 00	0.1942E 00	0.2103E 00	0.2217E 00	0.2296E 00	0.2349E 00
K=4	1.50	0.4848E-01	0.7865E-01	0.9890E-01	0.1127E 00	0.1221E 00	0.1284E 00	0.1326E 00	0.1353E 00	0.1370E 00
K=5	2.00	0.4087E-01	0.6019E-01	0.7109E-01	0.7764E-01	0.8166E-01	0.8415E-01	0.8568E-01	0.8662E-01	0.8718E-01
I=3										
K=0	0.00	0.8014E-01	0.1776E 00	0.2785E 00	0.3754E 00	0.4648E 00	0.5450E 00	0.6155E 00	0.6768E 00	0.7295E 00
K=1	.30	0.7106E-01	0.1452E 00	0.2146E 00	0.2764E 00	0.3300E 00	0.3758E 00	0.4144E 00	0.4466E 00	0.4735E 00
K=2	.60	0.6324E-01	0.1197E 00	0.1674E 00	0.2069E 00	0.2391E 00	0.2652E 00	0.2863E 00	0.3033E 00	0.3170E 00
K=3	1.00	0.5444E-01	0.9383E-01	0.1228E 00	0.1445E 00	0.1608E 00	0.1732E 00	0.1826E 00	0.1898E 00	0.1954E 00
K=4	1.50	0.4557E-01	0.7075E-01	0.8637E-01	0.9662E-01	0.1036E 00	0.1084E 00	0.1119E 00	0.1144E 00	0.1162E 00
K=5	2.00	0.3858E-01	0.5473E-01	0.6314E-01	0.6800E-01	0.7099E-01	0.7291E-01	0.7417E-01	0.7502E-01	0.7561E-01

M, RP(M) = 7, .1750 . L, T(L) = 2, 75000. . JJ, H = 13, .25 . (A,B)=M L = B = 7.2

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
	SØLAR WIND EXPNT						
I=1	2.0	0.1100E 06	0.2640E 06	0.4621E 06	0.7041E 06	0.9902E 06	0.1320E 07
I=2	1.5	0.1062E 06	0.2472E 06	0.4204E 06	0.6240E 06	0.8567E 06	0.1117E 07
I=3	1.0	0.1023E 06	0.2289E 06	0.3747E 06	0.5359E 06	0.7100E 06	0.8947E 06

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
I=1							
K=0	0.00	0.6382E 00	0.9128E 00	0.9860E 00	0.9985E 00	0.9998E 00	0.9999E 00
K=1	.30	0.6018E 00	0.8361E 00	0.8940E 00	0.9033E 00	0.9043E 00	0.9044E 00
K=2	.60	0.5684E 00	0.7684E 00	0.8143E 00	0.8212E 00	0.8219E 00	0.8220E 00
K=3	1.00	0.5277E 00	0.6899E 00	0.7235E 00	0.7282E 00	0.7287E 00	0.7287E 00
K=4	1.50	0.4825E 00	0.6075E 00	0.6303E 00	0.6332E 00	0.6334E 00	0.6335E 00
K=5	2.00	0.4427E 00	0.5392E 00	0.5548E 00	0.5565E 00	0.5567E 00	0.5567E 00
I=2							
K=0	0.00	0.6255E 00	0.8981E 00	0.9794E 00	0.9968E 00	0.9996E 00	0.9999E 00
K=1	.30	0.5900E 00	0.8225E 00	0.8868E 00	0.8997E 00	0.9017E 00	0.9019E 00
K=2	.60	0.5575E 00	0.7559E 00	0.8067E 00	0.8164E 00	0.8178E 00	0.8179E 00
K=3	1.00	0.5178E 00	0.6786E 00	0.7158E 00	0.7224E 00	0.7232E 00	0.7233E 00
K=4	1.50	0.4737E 00	0.5976E 00	0.6228E 00	0.6268E 00	0.6273E 00	0.6273E 00
K=5	2.00	0.4350E 00	0.5305E 00	0.5477E 00	0.5501E 00	0.5504E 00	0.5504E 00
I=3							
K=0	0.00	0.6117E 00	0.8795E 00	0.9686E 00	0.9929E 00	0.9985E 00	0.9997E 00
K=1	.30	0.5772E 00	0.8055E 00	0.8759E 00	0.8940E 00	0.8979E 00	0.8987E 00
K=2	.60	0.5455E 00	0.7403E 00	0.7960E 00	0.8094E 00	0.8122E 00	0.8127E 00
K=3	1.00	0.5071E 00	0.6648E 00	0.7055E 00	0.7146E 00	0.7163E 00	0.7166E 00
K=4	1.50	0.4642E 00	0.5857E 00	0.6132E 00	0.6187E 00	0.6197E 00	0.6199E 00
K=5	2.00	0.4266E 00	0.5202E 00	0.5389E 00	0.5423E 00	0.5428E 00	0.5429E 00

M, RP(M) = 8, .3500 . L, T(L) = 1, 1900000. . JJ, H = 19, .50 . (A,B)-M L = B = 8.1

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A. .) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
	SØLAR WIND EXPNT									
I=1	2.0	0.5280E 06	0.1408E 07	0.2640E 07	0.4225E 07	0.6162E 07	0.8451E 07	0.1109E 08	0.1408E 08	0.1743E 08
I=2	1.5	0.4944E 06	0.1248E 07	0.2234E 07	0.3433E 07	0.4832E 07	0.6418E 07	0.8182E 07	0.1011E 08	0.1221E 08
I=3	1.0	0.4579E 06	0.1072E 07	0.1789E 07	0.2580E 07	0.3427E 07	0.4317E 07	0.5241E 07	0.6192E 07	0.7168E 07

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

	S.E.P. EXPNT X (A.U.) =	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00	10.00
I=1										
K=0	0.00	0.1752E 00	0.4017E 00	0.6184E 00	0.7859E 00	0.8944E 00	0.9541E 00	0.9825E 00	0.9941E 00	0.9982E 00
K=1	.30	0.1550E 00	0.3274E 00	0.4765E 00	0.5835E 00	0.6487E 00	0.6829E 00	0.6985E 00	0.7046E 00	0.7067E 00
K=2	.60	0.1376E 00	0.2690E 00	0.3917E 00	0.4400E 00	0.4793E 00	0.4988E 00	0.5073E 00	0.5106E 00	0.5117E 00
K=3	1.00	0.1180E 00	0.2096E 00	0.2722E 00	0.3098E 00	0.3297E 00	0.3390E 00	0.3429E 00	0.3442E 00	0.3447E 00
K=4	1.50	0.9840E-01	0.1569E 00	0.1906E 00	0.2085E 00	0.2170E 00	0.2207E 00	0.2221E 00	0.2226E 00	0.2227E 00
K=5	2.00	0.8291E-01	0.1204E 00	0.1386E 00	0.1471E 00	0.1508E 00	0.1522E 00	0.1527E 00	0.1529E 00	0.1529E 00
I=2										
K=0	0.00	0.1650E 00	0.3657E 00	0.5573E 00	0.7142E 00	0.8284E 00	0.9038E 00	0.9494E 00	0.9750E 00	0.9883E 00
K=1	.30	0.1462E 00	0.2990E 00	0.4309E 00	0.5310E 00	0.5996E 00	0.6427E 00	0.6677E 00	0.6812E 00	0.6880E 00
K=2	.60	0.1300E 00	0.2465E 00	0.3373E 00	0.4012E 00	0.4425E 00	0.4671E 00	0.4808E 00	0.4879E 00	0.4914E 00
K=3	1.00	0.1118E 00	0.1930E 00	0.2483E 00	0.2835E 00	0.3044E 00	0.3161E 00	0.3223E 00	0.3253E 00	0.3267E 00
K=4	1.50	0.9349E-01	0.1454E 00	0.1752E 00	0.1919E 00	0.2008E 00	0.2055E 00	0.2077E 00	0.2087E 00	0.2092E 00
K=5	2.00	0.7902E-01	0.1123E 00	0.1284E 00	0.1363E 00	0.1402E 00	0.1420E 00	0.1428E 00	0.1432E 00	0.1433E 00
I=3										
K=0	0.00	0.1538E 00	0.3236E 00	0.4794E 00	0.6099E 00	0.7136E 00	0.7929E 00	0.8522E 00	0.8955E 00	0.9268E 00
K=1	.30	0.1366E 00	0.2659E 00	0.3731E 00	0.4564E 00	0.5187E 00	0.5640E 00	0.5964E 00	0.6193E 00	0.6352E 00
K=2	.60	0.1217E 00	0.2204E 00	0.2942E 00	0.3474E 00	0.3848E 00	0.4107E 00	0.4284E 00	0.4405E 00	0.4486E 00
K=3	1.00	0.1050E 00	0.1739E 00	0.2188E 00	0.2481E 00	0.2670E 00	0.2793E 00	0.2872E 00	0.2924E 00	0.2957E 00
K=4	1.50	0.8812E-01	0.1322E 00	0.1564E 00	0.1703E 00	0.1784E 00	0.1832E 00	0.1861E 00	0.1879E 00	0.1890E 00
K=5	2.00	0.7479E-01	0.1031E 00	0.1162E 00	0.1227E 00	0.1262E 00	0.1281E 00	0.1292E 00	0.1298E 00	0.1302E 00

M, RP(M) = 8, .3500 . L, T(L) = 2, 75000. , JJ, H = 13, .25 , (A,B)-M L = R = 8.2

G(X) = TIME (YEARS) FRØM X Tø 1 A.U.

	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
	SØLAR WIND EXPNT						
I=1	2.0	0.2200E 06	0.5280E 06	0.9242E 06	0.1408E 07	0.1980E 07	0.2640E 07
I=2	1.5	0.2125E 06	0.4944E 06	0.8458E 06	0.1248E 07	0.1713E 07	0.2234E 07
I=3	1.0	0.2047E 06	0.4579E 06	0.7824E 06	0.1072E 07	0.1420E 07	0.1789E 07

INTEGRAL = NØN-EQUILIBRIUM FACTØR

S.E.P. EXPNT

	X (A.U.) =	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	4.00
I=1							
K=0	0.00	0.8691E 00	0.9924E 00	0.9998E 00	0.1000E 01	0.1000E 01	0.1000E 01
K=1	.30	0.8260E 00	0.9325E 00	0.9385E 00	0.9386E 00	0.9386E 00	0.9386E 00
K=2	.60	0.7877E 00	0.8795E 00	0.8843E 00	0.8844E 00	0.8844E 00	0.8844E 00
K=3	1.00	0.7409E 00	0.8163E 00	0.8199E 00	0.8200E 00	0.8200E 00	0.8200E 00
K=4	1.50	0.6885E 00	0.7476E 00	0.7500E 00	0.7501E 00	0.7501E 00	0.7501E 00
K=5	2.00	0.6422E 00	0.6885E 00	0.6902E 00	0.6902E 00	0.6902E 00	0.6902E 00
I=2							
K=0	0.00	0.8597E 00	0.9896E 00	0.9995E 00	0.9999E 00	0.1000E 01	0.1000E 01
K=1	.30	0.8176E 00	0.9296E 00	0.9376E 00	0.9380E 00	0.9380E 00	0.9380E 00
K=2	.60	0.7798E 00	0.8763E 00	0.8827E 00	0.8830E 00	0.8830E 00	0.8830E 00
K=3	1.00	0.7337E 00	0.8128E 00	0.8176E 00	0.8177E 00	0.8177E 00	0.8177E 00
K=4	1.50	0.6821E 00	0.7439E 00	0.7472E 00	0.7473E 00	0.7473E 00	0.7473E 00
K=5	2.00	0.6364E 00	0.6848E 00	0.6871E 00	0.6871E 00	0.6871E 00	0.6871E 00
I=3							
K=0	0.00	0.8492E 00	0.9854E 00	0.9990E 00	0.9999E 00	0.1000E 01	0.1000E 01
K=1	.30	0.8080E 00	0.9255E 00	0.9363E 00	0.9370E 00	0.9371E 00	0.9371E 00
K=2	.60	0.7709E 00	0.8719E 00	0.8806E 00	0.8811E 00	0.8811E 00	0.8811E 00
K=3	1.00	0.7255E 00	0.8082E 00	0.8146E 00	0.8150E 00	0.8150E 00	0.8150E 00
K=4	1.50	0.6748E 00	0.7393E 00	0.7437E 00	0.7439E 00	0.7439E 00	0.7439E 00
K=5	2.00	0.6299E 00	0.6803E 00	0.6833E 00	0.6834E 00	0.6835E 00	0.6835E 00

END

VERDANKUNGEN

Herrn Prof.Dr.H.Oeschger und Herrn Prof.Dr.J.Geiss danke ich für die Möglichkeit, die voliegenden und andere Arbeiten im Physikalischen Institut durchführen zu können.
Herrn Prof.Dr.H.Oeschger danke ich für viele Ratschläge und Anregungen, sowie für seine verständnisvolle Art der Führung. Auch der ganzen Gruppe bin ich zu Dank verpflichtet. Den Herren Dr.H.Loosli, U.Siegenthaler, J.Houtermans, Dr.B.Stauffer und W.Wiest danke ich für zahlreiche anregende Diskussionen. Frau T.Riesen hat mir in vielem geholfen und administrative Umtriebe abgenommen. Die Herren R.Lehmann, T.Müller und H.Steuri haben die sorgfältige Anfertigung der Zähler ausgeführt. Den Herren E.Grendelmeier und R.Nagler danke ich für die Beratung und die teilweise Mithilfe beim Bau der elektronischen Anlagen.
Herrn Prof.Dr.D.Lal möchte ich für die Ueberlassung der Manganoxid-Proben bestens danken. Herrn Prof.Dr.P.Marmier verdanke ich die Bestrahlung des Fe-Target, sowie wertvolle Ratschläge und Herrn PD.Dr.HR.von Gunten die zeitraubende chemische Abtrennung der Ni-Fraktionen.
Herrn J.Houtermans danke ich für die Mithilfe bei der mathematischen Behandlung des Aktivierungsproblems, sowie für das Erstellen der Computerprogramme. Den Herren Dr.T.Binkert, O.Jenni und P.Zinsli verdanke ich die Herstellung einiger radioaktiven Präparate.
Herrn K.Hänni und C.Kaspar danke ich für ihre Mithilfe bei diversen Laborarbeiten, sowie technische Beratung.
Die vorliegende Arbeit ist finanziell vom Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung getragen worden.

LEBENSLAUF

Am 4.8.1940 wurde ich in Bern geboren. Von 1947 bis 1950 besuchte ich die Primarschule in Muri bei Bern, von 1951 bis 1954 das Städtische Progymnasium und von 1955 bis 1959 das Städtische Gymnasium in Bern. Nach bestandener Maturität vom Typus B immatrikulierte ich mich an der philosophisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Bern. Im November 1965 legte ich die Lizentiatsprüfung im Hauptfach Physik und den Nebenfächern Chemie und Zoologie ab.